

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN



TESIS DOCTORAL

ENRIQUECIMIENTO SEMÁNTICO DE METADATOS EDUCATIVOS
APOYADO EN ONTOLOGÍAS DE CONOCIMIENTO GENERAL

Autor:

M. Elena Rodríguez González
Licenciada en Informática

Directores:

Dr. Jordi Conesa i Caralt
Dr. Miguel A. Sicilia Urbán

Alcalá de Henares, Febrero 2012

A Tirso,
tú ya sabes el porqué.

Resumen

El uso de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en educación ha posibilitado el desarrollo de un amplio abanico de soluciones para facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Entre ellos se encuentra la posibilidad de ofrecer educación semipresencial y a distancia en la forma de *e-learning*.

Uno de los elementos centrales en el ámbito del *e-learning* es la creación y compartición de contenidos educativos que se encuentran almacenados en repositorios. La creación de contenidos educativos se puede realizar desde cero o partir de la reutilización (total o parcial) de contenidos previamente desarrollados, que quizá fueron concebidos para un contexto de uso educativo diferente al de donde se pretenden reutilizar. Dichos contenidos educativos reciben el nombre de objetos de aprendizaje. Para posibilitar la reutilización de los objetos de aprendizaje, es necesario proporcionar mecanismos que faciliten su búsqueda, selección y examen. Estos mecanismos se basan en el uso de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje, los cuales forman parte de diferentes estándares y especificaciones, siendo el estándar de referencia el IEEE 1484.12.1-2002 *Standard for Information Technology –Education and Training Systems– Learning Objects and Metadata*, también conocido como estándar LOM.

El estándar LOM incluye un modelo de datos que define de manera descriptiva el conjunto de metadatos a usar en la caracterización de los objetos de aprendizaje. Adicionalmente, también proporciona la definición de las correspondencias que especifican cómo el modelo de datos puede quedar expresado en un lenguaje determinado, en concreto en XML. Dado un objeto de aprendizaje, los metadatos y sus valores, junto con su estructuración de acuerdo a LOM, dan lugar a un registro de metadatos que describe el objeto de aprendizaje en cuestión. La definición descriptiva de LOM causa que esté sujeto a múltiples interpretaciones, dado que éste contiene imprecisiones, omisiones e información que está oculta y diseminada en diferentes metadatos. Todo ello limita las capacidades de los procesos relativos a la gestión de los objetos de

aprendizaje previamente mencionados, a pesar que los registros de metadatos que los describan puedan estar, desde un punto de vista sintáctico, correctamente estructurados. Todo lo indicado introduce la necesidad de una representación formal que permita que el conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje pueda ser definido, interpretado, compartido e intercambiado de manera no ambigua. Dado que el *e-learning* es un dominio particular de aplicación de la Web semántica, centrado en entornos de enseñanza-aprendizaje, el desarrollo de ontologías (el elemento esencial para proveer significado en la Web semántica), parece ser una solución apropiada para acometer una representación formal del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje.

En el presente trabajo se realiza la definición de un modelo de conocimiento del dominio de los objetos de aprendizaje que permite mejorar la expresividad semántica del esquema de representación originalmente propuesto por el estándar LOM, aplicando para ello técnicas de la ingeniería del software y de la inteligencia artificial. El modelo de conocimiento es conforme a LOM, y permite validar y solventar las principales ambigüedades y deficiencias presentes en las definiciones proporcionadas por el estándar. Todo ello ayuda a mejorar las capacidades de los procesos relacionados con la gestión de los objetos de aprendizaje disponibles en repositorios. Entre estos procesos se encuentran, además de los previamente mencionados, la anotación (o descripción) consistente de los objetos de aprendizaje, así como la realización de tareas de control y auditoría sobre los mismos. El modelo de conocimiento del dominio de los objetos de aprendizaje se apoya parcialmente en el uso de ontologías de propósito general e incluye como contribuciones principales, por un lado, un marco conceptual independiente de las tecnologías que permitirían su implementación, garantizando así la inmunidad y validez de las conclusiones alcanzadas ante posibles cambios tecnológicos, y por otro, el desarrollo de un esquema formal basado en ontologías para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, ajustado al marco conceptual propuesto.

La evaluación del esquema formal basado en ontologías para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje ha sido realizada desde diferentes ámbitos. En primer lugar, se ha evaluado su corrección desde un punto de vista lógico-formal, con el objetivo de garantizar que el esquema formal está bien descrito y no contiene inconsistencias. En segundo lugar, se ha evaluado su completitud a través del diseño de diversos casos de ejemplo y a través de su comparación con otros esquemas formales disponibles. Finalmente, en tercer lugar, se ha evaluado su utilidad desde un punto de vista funcional, proponiendo para ello diversos escenarios de aplicación.

Abstract

The use of Information and Communication Technologies (ICT) in education has enabled the development of a wide range of solutions designed to facilitate teaching-learning processes. Amongst them, there is the feasibility of offering distance and blended learning in the form of e-learning.

A basic element in e-learning is the creation and sharing of educational content stored in repositories. The creation of educational content can be done from scratch or by total or partial reuse of previously developed educational content. This content, referred to as learning objects, perhaps was conceived for an educational context different to the one for which it is intended to be reused. In order to enable the reuse of learning objects, it is necessary to provide mechanisms that facilitate their search, selection and browsing. These mechanisms rely on the use of metadata that describe the learning objects. Such metadata are proposed by different standards and specifications, the most prominent one being the IEEE 1484.12.1-2002 *Standard for Information Technology–Education and Training Systems– Learning Objects and Metadata*, also known as the LOM standard.

The LOM standard includes a data model that defines in a descriptive manner the set of metadata to be used in the characterization of the learning objects. In addition, it also provides (in a separated document) the bindings that specify how the data model can be expressed in XML. For a given learning object, the chosen metadata and their values, together with their structure according to LOM, generate a metadata record that describes the learning object. The descriptive definition of the standard could cause multiple interpretations, since it contains omissions, lack of precision, and information that remains hidden and scattered in different metadata. These shortcomings reduce the capabilities of several processes related to the management of learning objects (e.g. search, selection and browsing), even though the metadata records that describe them

may be correctly structured from a syntactic point of view. Such problems introduce the need for a formal representation that allows all the knowledge associated with the learning objects to be defined, interpreted, shared and exchanged in a non ambiguous way. Since e-learning can be considered a particular application domain of the semantic Web that is focused on teaching-learning environments, the development of ontologies (the essential element to provide meaning in the context of the semantic Web) seems to be an appropriate solution.

This dissertation applies software engineering and artificial intelligence techniques to define a knowledge model of the learning objects domain that improves the semantic expressiveness of the representation schema originally suggested by the LOM standard. This knowledge model conforms to LOM and resolves the main ambiguities and deficiencies that exist in the definitions provided by the standard. Furthermore, the developed knowledge model is designed to improve the management of the learning objects available in repositories. In addition to processes previously mentioned, this knowledge model ensures the consistent annotation (or description) of the learning objects, as well as the accomplishment of control and audit tasks on them.

The knowledge model leans partially on the use of commonsense ontologies resulting in two significant achievements. Firstly, it contributes to the definition of a conceptual framework independent of the technologies used for its implementation, ensuring the conclusions reached remain intact and valid. Secondly, it contributes to the development of a formal schema based on ontologies for the representation of the knowledge related to learning objects. This formal schema is adjusted to the conceptual framework.

The formal schema has been evaluated from different perspectives. To begin with, its correctness has been evaluated from a logical-formal point of view, with the aim of ensuring that the formal schema is well described and does not contain inconsistencies. Following this, an evaluation of its completeness is provided by designing different case studies and through its comparison with other available formal schemas. Finally, its usefulness from a functional point of view has been evaluated, suggesting different scenarios where it could be applied.

Agradecimientos

He aquí mi secreto. Es muy simple: no se ve bien sino con el corazón.

Lo esencial es invisible a los ojos.

*El principito, **Antoine de Saint-Exupéry***

Este trabajo de tesis es el resultado de un largo proceso profesional y personal, dilatado en el tiempo más de lo que habría sido deseable e incluso aceptable. No se podría haber realizado sin la ayuda de muchas personas.

En el ámbito profesional, quisiera mencionar a mis directores de tesis, el Dr. Jordi Conesa i Caralt y el Dr. Miguel Ángel Sicilia Urbán. Sin sus conocimientos, dedicación y confianza este trabajo, posiblemente, nunca se hubiese acabado. También quisiera agradecer la colaboración de la Dra. Elena García Barriocanal en las fases iniciales de este trabajo de tesis, y su ayuda en diversos trámites académicos. Gracias también al Dr. Antoni Olivé Ramon por su disposición en la resolución de diferentes dudas, y por indicarme algunas referencias que podrían resultar de mi interés. A todos ellos, además, quiero agradecerles el aprecio (por otra parte mutuo) que siempre me han mostrado.

Este trabajo de tesis se ha realizado en el marco de los proyectos PERSONAL(ONTO) (TIN2006-15107-C02-01/02) y MAVSEL (TIN2010-21715-C02-01) financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. También ha contado con apoyo del IN3 (en concreto del Programa de Investigadores Residentes 2010) y del eLearn Center, ambos vinculados a la Universitat Oberta de Catalunya. Esto me ha permitido, por una parte, trabajar con David Gañán, a quien tengo que agradecer su colaboración en la implementación de LOManager. Por otra, me ha dado la oportunidad de compartir trabajo y experiencias con los miembros del grupo de investigación NET2LEARN. Dicho trabajo y experiencias, en parte, han revertido en este trabajo de tesis.

También quisiera agradecer todo el apoyo recibido desde los Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació (EIMT) de la Universitat Oberta de Catalunya para que este trabajo de tesis se pudiera finalizar. Asimismo quiero dar las gracias al departamento de Enginyeria de Serveis i Sistemes d'Informació (ESSI) de la Universitat Politècnica de Catalunya por haberme brindando mi primera oportunidad de participar en actividades de investigación y docencia, y en especial al Dr. Fèlix Saltor Soler y demás miembros del grupo de investigación BLOOM. Quiero destacar que, sin las personas que integran ESSI, no hubiera establecido relación con los miembros de los EIMT, y sin ambos, no habría contactado con personas del departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Alcalá. De todas estas personas también tengo (o he tenido) el gusto de aprender.

Desde un punto de vista personal, quiero agradecer los sacrificios realizados, así como el amor, comprensión y ánimos recibidos por parte de mi marido, padres y hermana. Quisiera hacer extensivo estos agradecimientos al resto de mi familia, y en especial a mi abuela y tío porque me gustaría que siguiesen conmigo, sobre todo para compartir los momentos de felicidad. En el caso de mi hermana, además, quiero agradecerle su ayuda en la revisión lingüística y de estilo de esta memoria de tesis. Aunque con diferentes propósitos, tanto ella, como Miguel Ángel y Jordi la han paseado por diversos aeropuertos, convirtiéndola así en una tesis de mundo.

Por último, no quiero olvidar a mis amigos, ellos también han sido un pilar fundamental para completar este trabajo de tesis. Algunos se han esforzado en entender su contenido y han participado activamente en su seguimiento, alguno de ellos incluso desde la distancia (¡qué grande es Skype! ¿Verdad, Lidia?). Otros, los más prudentes, han respetado mis silencios. Sea cual fuere el caso, todos ellos han garantizado los momentos de ocio necesarios para que este trabajo de tesis se pudiera completar.

Barcelona, Febrero 2012
M. Elena Rodríguez González

Índice general

| | |
|--|-----------|
| Resumen | I |
| Abstract | III |
| Agradecimientos | V |
| Índice | VII |
| Índice de Figuras | XIII |
| Índice de Tablas | XVII |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación | 1 |
| 1.2. Objetivos y aportaciones originales | 4 |
| 1.3. Método de trabajo | 7 |
| 1.4. Estructura del documento | 8 |
| 2. Estado de la cuestión | 11 |
| 2.1. La educación a través de Internet | 11 |
| 2.2. El paradigma de los objetos de aprendizaje | 17 |
| 2.2.1. Definiciones del concepto de objeto de aprendizaje | 18 |
| 2.2.2. La reutilización de los objetos de aprendizaje | 22 |
| 2.2.3. Estándares y especificaciones para describir objetos de aprendizaje | 26 |
| 2.2.4. Repositorios de objetos de aprendizaje | 32 |
| 2.3. El estándar LOM para objetos de aprendizaje | 36 |
| 2.4. Ontologías | 40 |
| 2.4.1. El concepto de ontología | 41 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.4.2. | Estructura de una ontología | 44 |
| 2.4.3. | Clasificación de ontologías | 46 |
| 2.4.4. | Ontologías y Web semántica | 48 |
| 2.5. | Uso de ontologías en <i>e-learning</i> | 51 |
| 2.6. | Ontologías para la representación de objetos de aprendizaje | 54 |
| 2.6.1. | Representación basada en metadatos semi semánticos | 57 |
| 2.6.2. | Representación basada en metadatos semánticos | 60 |
| 3. | Planteamiento del problema | 67 |
| 3.1. | Limitaciones del estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje | 69 |
| 3.1.1. | Semántica implícita | 69 |
| 3.1.2. | Múltiples alternativas de representación | 71 |
| 3.1.3. | Definiciones imprecisas | 73 |
| 3.1.4. | Omisiones | 74 |
| 3.1.5. | Incertidumbre derivada de la opcionalidad | 76 |
| 3.1.6. | Otras limitaciones | 77 |
| 3.2. | Dificultades en la gestión de los objetos de aprendizaje | 77 |
| 3.2.1. | Dificultades en la anotación de los objetos de aprendizaje | 78 |
| 3.2.2. | Dificultades en la búsqueda, selección, reutilización, control y auditoría de los objetos de aprendizaje | 80 |
| 3.3. | Limitaciones de las ontologías existentes para la representación de objetos de aprendizaje | 85 |
| 3.4. | Beneficios del uso de ontologías de conocimiento general | 89 |
| 4. | Marco conceptual para los objetos de aprendizaje | 93 |
| 4.1. | Concepto de objeto de aprendizaje | 95 |
| 4.2. | Clases de objetos de aprendizaje | 96 |
| 4.2.1. | Objetos de aprendizaje conceptuales y sus concreciones | 98 |
| 4.2.2. | Objetos de aprendizaje atómicos y compuestos | 103 |
| 4.2.3. | Objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas | 112 |
| 4.2.4. | Ejemplo de aplicación de las especializaciones propuestas | 119 |
| 4.3. | Relaciones no taxonómicas entre objetos de aprendizaje | 120 |
| 4.3.1. | Revisión crítica de relaciones en LOM | 120 |
| 4.3.2. | Relaciones ternarias | 126 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.3.3. | Taxonomía de relaciones | 127 |
| 4.3.4. | Restricciones de integridad sobre relaciones | 141 |
| 4.4. | Propiedades de los objetos de aprendizaje | 153 |
| 4.4.1. | Propiedades generales | 154 |
| 4.4.2. | Ciclo de vida de los objetos de aprendizaje | 157 |
| 4.4.3. | Propiedades técnicas | 159 |
| 4.4.4. | Propiedades educativas | 160 |
| 4.4.5. | Derechos sobre los objetos de aprendizaje | 163 |
| 4.4.6. | Anotaciones sobre los objetos de aprendizaje | 163 |
| 4.4.7. | Clasificaciones de los objetos de aprendizaje | 165 |
| 4.5. | Contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje | 166 |
| 4.5.1. | Elementos que caracterizan el contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje | 167 |
| 4.5.2. | Soporte en LOM para la definición del contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje | 168 |
| 4.5.3. | Limitaciones de LOM para la definición del contexto de uso edu- cativo de los objetos de aprendizaje | 173 |
| 4.5.4. | Clases de registros de metadatos y su organización en una jerar- quía de especialización | 176 |
| 4.5.5. | Restricciones de integridad sobre los registros de metadatos: con- textos de uso educativo y Meta-Metadatos | 183 |
| 4.5.6. | Ejemplo de aplicación de la solución propuesta | 188 |
| 5. | Representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje | 193 |
| 5.1. | Ontología básica de LOM | 195 |
| 5.1.1. | Concepto de objeto de aprendizaje y registro de metadatos . . . | 198 |
| 5.1.2. | Concepto categoría LOM y metadatos asociados | 202 |
| 5.1.3. | Concepto tipo de datos de LOM | 210 |
| 5.1.4. | Reglas SWRL | 216 |
| 5.2. | Ontología extendida de LOM | 218 |
| 5.2.1. | Clases de objetos de aprendizaje y su organización taxonómica . | 219 |
| 5.2.2. | Relaciones no taxonómicas entre los objetos de aprendizaje . . . | 232 |
| 5.3. | Alineación con OpenCyc | 236 |
| 5.3.1. | Correspondencias a nivel de clases de objetos de aprendizaje . . | 236 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.3.2. | Correspondencias a nivel de relaciones no taxonómicas entre objetos de aprendizaje | 240 |
| 5.3.3. | Otras correspondencias | 242 |
| 5.4. | Limitaciones encontradas en la representación | 243 |
| 6. | Evaluación | 249 |
| 6.1. | Evaluación de la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje | 250 |
| 6.1.1. | Evaluación de la corrección | 250 |
| 6.1.2. | Evaluación de la completitud | 251 |
| 6.2. | Comparación con otros esquemas de representación basados en ontologías | 262 |
| 6.3. | Escenarios de aplicación | 265 |
| 6.3.1. | Aplicación en repositorios institucionales: el caso de la UOC . . | 265 |
| 6.3.2. | Validación de registros de metadatos publicados por diferentes instituciones | 268 |
| 6.3.3. | Guías para la detección de contextos de uso educativo | 269 |
| 6.3.4. | Exposición de datos en <i>open linked data</i> | 271 |
| 7. | Conclusiones y líneas de trabajo futuro | 275 |
| 7.1. | Satisfacción de los objetivos propuestos | 275 |
| 7.2. | Aportaciones | 278 |
| 7.3. | Conclusiones | 280 |
| 7.3.1. | Mejora en las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje | 281 |
| 7.3.2. | Revisión del estándar LOM | 284 |
| 7.4. | Líneas de trabajo futuro | 286 |
| 7.5. | Publicaciones derivadas de la investigación | 288 |
| A. | Definiciones de OpenCyc | 291 |
| A.1. | Clases | 291 |
| A.2. | Relaciones | 296 |
| B. | Ontologías para la representación del marco conceptual para los objetos de aprendizaje | 303 |

| | |
|--|------------|
| C. Editor LOManager | 307 |
| C.1. Análisis | 307 |
| C.1.1. Requisitos funcionales | 307 |
| C.1.2. Requisitos no funcionales | 308 |
| C.2. Diseño | 309 |
| C.2.1. Arquitectura | 309 |
| C.2.2. Casos de uso | 310 |
| C.2.3. Diseño de capas | 313 |
| C.3. Implementación | 316 |
| Bibliografía | 316 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----|
| 2.1. Alternativas para la representación de objetos de aprendizaje | 55 |
| 4.1. Especialización de los objetos de aprendizaje según su nivel de abstracción | 99 |
| 4.2. Ejemplo de objetos de aprendizaje según su nivel de abstracción | 102 |
| 4.3. Primera propuesta de especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su estructura organizativa interna | 107 |
| 4.4. Segunda propuesta de especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su estructura organizativa interna | 108 |
| 4.5. Ejemplos de objetos de aprendizaje según su estructura organizativa interna | 111 |
| 4.6. Especializaciones de los objetos de aprendizaje de acuerdo a característi- cas educativas. Aspectos instruccionales | 113 |
| 4.7. Especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas. Aspectos de representación | 114 |
| 4.8. Clases OpenCyc relacionadas con características educativas. Aspectos instruccionales | 116 |
| 4.9. Especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas. Modo de aprendizaje promovido | 118 |
| 4.10. Uso de las relaciones retóricas | 124 |
| 4.11. Ambigüedad en el uso de relaciones retóricas | 125 |
| 4.12. Ejemplo de taxonomía de relaciones y sus propiedades | 132 |
| 4.13. Taxonomía de relaciones grupo 1 | 133 |
| 4.14. Taxonomía de relaciones grupo 2 | 137 |
| 4.15. Taxonomía de relaciones grupos 3 y 4 | 139 |
| 4.16. Participación de los objetos de aprendizaje en las relaciones | 142 |
| 4.17. Ejemplos de creación de objetos de aprendizaje de acuerdo a RI15, RI16 y RI17 | 145 |

| | |
|---|-----|
| 4.18. Ejemplos de relaciones transferidas a los objetos de aprendizaje derivados traducción y versión de acuerdo a RI18 | 146 |
| 4.19. Ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto traducción de acuerdo a RI19 y RI21 | 148 |
| 4.20. Ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto versión de acuerdo a RI20 y RI21 | 149 |
| 4.21. Ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto concreción de acuerdo a RI23, RI24 y RI25 | 150 |
| 4.22. Ejemplos de violación de RI26 sobre un mismo tipo de relación | 151 |
| 4.23. Ejemplo de violación de RI26 sobre diferentes relaciones del mismo grupo | 152 |
| 4.24. Ejemplo de violación de RI29 sobre agregación por composición | 152 |
| 4.25. Ejemplo de registro de metadatos de un objeto de aprendizaje con diferentes contextos de uso educativo | 174 |
| 4.26. Modelado del contexto de uso educativo mediante registros de metadatos especializados | 177 |
| 4.27. Ejemplo de orden de creación de los registros de metadatos de objetos de aprendizaje relacionados | 186 |
| 4.28. Ejemplo de registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (<i>ContextoA</i>) | 189 |
| 4.29. Ejemplo de registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (<i>ContextoB</i>) | 190 |
| 5.1. Especialización de los registros de metadatos y sus categorías | 195 |
| 5.2. Taxonomía de clases de la ontología básica de LOM | 196 |
| 5.3. Taxonomía de registros de metadatos de la ontología básica de LOM | 199 |
| 5.4. Taxonomía de categorías de la ontología básica de LOM | 203 |
| 5.5. Taxonomía de vocabularios de la ontología básica de LOM | 213 |
| 5.6. Taxonomía LOMByAbstraction | 221 |
| 5.7. Taxonomías LOMByStructure y LOMByAggregationLevel | 225 |
| 5.8. Modelo inferido taxonomías LOMByStructure y LOMByAggregationLevel | 228 |
| 5.9. Taxonomías LOMByEducationalProperties y LOMByInteractivityType | 230 |
| 5.10. Taxonomías de relaciones grupo 1 en Protégé | 233 |
| 5.11. Alineación taxonomía LOMByEducationalProperties con OpenCyc. Paso 1 | 238 |
| 5.12. Alineación taxonomía LOMByEducationalProperties con OpenCyc. Paso 2 | 238 |
| 5.13. Alineación taxonomía LOMByEducationalProperties con OpenCyc. Paso 3 | 239 |

| | |
|--|-----|
| 6.1. Ejemplo de definición de la relación <code>isMaterializedBy</code> en registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo | 255 |
| 6.2. Ejemplo de metadatos con idéntico valor en registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo de objetos de aprendizaje relacionados | 256 |
| 6.3. Ejemplo de metadatos con idéntico valor en los registros de metadatos dependientes del contexto de uso de objetos de aprendizaje relacionados | 257 |
| 6.4. Ejemplo de clasificación inferida de objetos de aprendizaje relacionados | 258 |
| 6.5. Ejemplo de exportación de la clasificación inferida de objetos de aprendizaje relacionados | 259 |
| 6.6. Ejemplo de relaciones inferidas de objetos de aprendizaje relacionados . | 261 |
| 6.7. Caracterización contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje | 270 |
| B.1. Caso de estudio A | 304 |
| B.2. Casos de estudio B y C | 305 |
| C.1. Arquitectura Web en capas | 309 |
| C.2. Casos de uso | 310 |
| C.3. Diagrama de secuencia para el caso de uso creación de objetos de aprendizaje | 312 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| 3.1. Análisis de ontologías basadas en metadatos semánticos para la representación de objetos de aprendizaje | 87 |
| 4.1. Definición de LOM de las estructuras organizativas internas de los objetos de aprendizaje | 104 |
| 4.2. Resumen de ambigüedades sobre las estructuras organizativas de los objetos de aprendizaje y su resolución | 109 |
| 4.3. Relaciones propuestas por LOM en la categoría 7. <i>Relation</i> | 121 |
| 4.4. Resumen de problemas asociados a las definiciones de las relaciones en LOM | 123 |
| 4.5. Grupos de relaciones | 129 |
| 4.6. Propiedades de las relaciones | 130 |
| 4.7. Relaciones inversas asociadas a la taxonomía de relaciones grupo 1 . . . | 135 |
| 4.8. Relaciones inversas asociadas a la taxonomía de relaciones grupo 2 . . . | 138 |
| 4.9. Relaciones inversas asociadas a las taxonomías de relaciones grupos 3 y 4 | 140 |
| 4.10. Dónde se usa el objeto de aprendizaje | 169 |
| 4.11. A quién se dirige el uso del objeto de aprendizaje | 170 |
| 4.12. Cómo se usa/qué se obtiene a través del uso del objeto de aprendizaje . | 171 |
| 4.13. Diferenciación de las propiedades educativas según el contexto de uso . | 178 |
| 4.14. Diferenciación de los propósitos de clasificación según el contexto de uso | 180 |
| 5.1. Propiedades de la clase <code>LearningObject</code> | 198 |
| 5.2. Propiedades de la clase <code>MetadataRecord</code> | 200 |
| 5.3. Propiedades de la clase <code>ContextIndependentMetadataRecord</code> | 201 |
| 5.4. Propiedades de la clase <code>LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord</code> | 201 |
| 5.5. Propiedades de la clase <code>ContextDependentMetadataRecord</code> | 201 |
| 5.6. Propiedades de la clase <code>General</code> | 203 |

| | |
|--|-----|
| 5.7. Propiedades de la clase <code>LifeCycle</code> | 203 |
| 5.8. Propiedades de la clase <code>MetaMetadata</code> | 204 |
| 5.9. Propiedades de la clase <code>Technical</code> | 204 |
| 5.10. Propiedades de la clase <code>EducationalContextIndependent</code> | 204 |
| 5.11. Propiedades de la clase <code>EducationalContextDependent</code> | 205 |
| 5.12. Propiedades de la clase <code>Rights</code> | 205 |
| 5.13. Propiedades de la clase <code>Relation</code> | 205 |
| 5.14. Propiedades de la clase <code>Annotation</code> | 206 |
| 5.15. Propiedades de la clase <code>Classification</code> | 206 |
| 5.16. Propiedades de la clase <code>Identifier</code> | 207 |
| 5.17. Propiedades de la clase <code>Contribute</code> | 208 |
| 5.18. Propiedades de la clase <code>Requirement</code> | 208 |
| 5.19. Propiedades de la clase <code>Resource</code> | 208 |
| 5.20. Propiedades de la clase <code>TaxonPath</code> | 208 |
| 5.21. Propiedades de la clase <code>OrComposite</code> | 209 |
| 5.22. Propiedades de la clase <code>Taxon</code> | 209 |
| 5.23. Propiedades de la clase <code>VCard</code> | 211 |
| 5.24. Propiedades de la clase <code>DateTime</code> | 212 |
| 5.25. Propiedades de la clase <code>Duration</code> | 212 |
| 5.26. Propiedades de la clase <code>LangString</code> | 212 |
| 5.27. Propiedades de la clase <code>SingleLangString</code> | 212 |
| 5.28. Propiedades de la clase <code>Vocabulary</code> | 215 |
| 5.29. Características de las relaciones del grupo 1 | 234 |
| 5.30. Características de las relaciones del grupo 1 (continuación) | 234 |
| 5.31. Correspondencias de las taxonomías <code>L0ByAbstraction</code> y <code>L0ByStructure</code> con OpenCyc | 237 |
| 5.32. Correspondencias de las taxonomías <code>L0ByAbstraction</code> y <code>L0ByStructure</code> con OpenCyc (continuación) | 237 |
| 5.33. Correspondencias de la taxonomía <code>ReferenceWorkL0</code> con OpenCyc | 240 |
| 5.34. Correspondencias de la taxonomía <code>ReferenceWorkL0</code> con OpenCyc (con- tinuación) | 240 |
| 5.35. Correspondencias de la taxonomía de relaciones del grupo 1 con OpenCyc | 241 |
| 5.36. Correspondencias de la taxonomía de relaciones del grupo 1 con OpenCyc (continuación) | 241 |
| 5.37. Otras correspondencias. Adición de <i>object properties</i> | 242 |

| | |
|--|-----|
| 5.38. Otras correspondencias. Adición de <i>object properties</i> (continuación) . . | 242 |
| 5.39. Otras correspondencias. Adición de la clase Coverage | 243 |
| 5.40. Otras correspondencias. Adición de clases relacionadas con la clase Coverage | 244 |
| 6.1. Número de objetos de aprendizaje creados de acuerdo a su nivel de abstracción y registros de metadatos asociados | 252 |
| 6.2. Número de objetos de aprendizaje creados de acuerdo a su estructuración interna y nivel de agregación | 253 |
| 6.3. Número de objetos de aprendizaje creados de acuerdo a características educativas. Modo de aprendizaje promovido, aspectos instruccionales y de representación | 254 |
| 6.4. Ejemplo de aplicación de reglas SWRL sobre relaciones | 260 |
| 6.5. Comparación de esquemas de representación basados en ontologías para la representación de objetos de aprendizaje | 263 |

Capítulo 1

Introducción

*—Con la venia de Su Majestad —preguntó—, ¿por dónde empiezo?
—Comienza por el comienzo —dijo, muy gravemente, el Rey— y sigue
hasta que llegues al final; entonces, paras.
Alicia en el país de las maravillas, Lewis Carroll*

En este capítulo se ofrece una síntesis del problema que se pretende resolver, describiendo los objetivos y el método de trabajo seguido. También se resumen las principales aportaciones que se derivan del trabajo de tesis realizado. El capítulo finaliza con un resumen de los capítulos y anexos que conforman la memoria de tesis.

1.1. Motivación

El uso de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en educación ha posibilitado el desarrollo de un amplio abanico de soluciones para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Entre ellos se encuentra la posibilidad de ofrecer educación semipresencial y a distancia en la forma de *e-learning*.

El *e-learning* extiende su ámbito de actuación a dos disciplinas: las referidas al proceso de enseñanza-aprendizaje, y las relativas a los medios informáticos y de comunicación utilizados en dicho proceso. Los estudios del primer campo pertenecen a la pedagogía, sociología y psicología, mientras que la informática y telecomunicación se ocupan de aspectos tecnológicos que incluyen, entre otros, la infraestructura hardware y software necesaria para la creación de entornos virtuales de aprendizaje.

Uno de los elementos centrales en el ámbito del *e-learning* es la creación y compartición de contenidos educativos que se encuentran almacenados en repositorios. La creación de contenidos educativos se puede realizar desde cero o partir de la reutilización (total o parcial) de contenidos previamente desarrollados, que quizá fueron concebidos para un contexto de uso educativo diferente al de donde se pretenden reutilizar. Dichos contenidos educativos reciben el nombre de objetos de aprendizaje. Desde un punto de vista tecnológico, para posibilitar la compartición y reutilización de los objetos de aprendizaje, también es necesario proporcionar mecanismos que permitan su búsqueda y selección. Para ello, es necesario realizar una descripción detallada, precisa y consensuada de los objetos de aprendizaje, basada en el desarrollo de estándares y especificaciones, siendo el estándar de referencia el IEEE 1484.12.1-2002 *Standard for Information Technology –Education and Training Systems– Learning Objects and Metadata*, más conocido simplemente como estándar LOM (LOM 2002).

LOM facilita –en palabras del propio estándar– la búsqueda, evaluación, adquisición y uso de los objetos de aprendizaje, por ejemplo, por estudiantes, profesores y agentes software. También posibilita la compartición e intercambio de los objetos de aprendizaje, permitiendo el desarrollo de repositorios, al tiempo que toma en consideración la diversidad cultural y los contextos lingüísticos en los que los objetos de aprendizaje y sus metadatos serán reutilizados. Para ello propone un esquema de metadatos (o propiedades) agrupados en diferentes categorías que permiten la descripción de los objetos de aprendizaje. En el caso de ciertos metadatos, el estándar sugiere el uso de listas de valores apropiados que en el contexto de LOM reciben el nombre de vocabularios. El estándar también define, en un documento separado (LOM-XML 2003), las correspondencias que especifican cómo el esquema de metadatos queda expresado en términos de XML¹. Dado un objeto de aprendizaje, los metadatos y los valores que éstos tienen asignados junto con su estructuración de acuerdo a LOM, dan lugar a un registro de metadatos que describe el objeto de aprendizaje en cuestión.

La elección del lenguaje XML efectuada por LOM garantiza la correcta estructuración e intercambio, desde un punto de vista sintáctico, de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. El problema radica en la interpretación del significado (o semántica) del contenido de los registros de metadatos, que se orienta

¹XML: <http://www.w3.org/XML/Schema>

principalmente a personas y no a programas especializados. Al margen de este problema, el estándar también presenta otras limitaciones en la definición de los metadatos y los vocabularios que éstos pueden tener asociados. Como principales limitaciones se pueden citar: definiciones imprecisas, omisiones, semántica implícita y múltiples alternativas para representar una misma información relativa a un objeto de aprendizaje. Estas limitaciones se relacionan con el bajo nivel de formalización del estándar, y causan la existencia de registros de metadatos heterogéneos y con información potencialmente inconsistente. Esta heterogeneidad se manifiesta de diferentes formas: en cuanto la manera de representar información de naturaleza similar e incluso idéntica, en cuanto al significado de los metadatos como consecuencia de diferentes interpretaciones de los mismos, en cuanto a los vocabularios (procedentes de diferentes fuentes) utilizados y en cuanto al número y tipología de los metadatos incluidos en los registros de metadatos. Todo esto causa problemas en los programas que gestionan los objetos de aprendizaje.

Todo lo indicado introduce la necesidad de una representación formal del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, de tal manera que los esquemas de metadatos que describen los objetos de aprendizaje no incluyan únicamente cuestiones relativas a su sintaxis, sino también a su semántica (Al-Khalifa & Davis 2006). En el contexto de la Web semántica (Berners-Lee et al. 2001), las ontologías son el elemento esencial para expresar semántica. Dado que el *e-learning* puede ser considerado un dominio particular de aplicación de la Web semántica, centrado en el caso de entornos de enseñanza-aprendizaje, el desarrollo de ontologías para la representación de los esquemas de metadatos que describen los objetos de aprendizaje –como sería el caso del propuesto por LOM– parece ser una solución apropiada para incrementar el nivel de expresividad semántica en la descripción de los objetos de aprendizaje –para una discusión más detallada véase, por ejemplo, Sicilia & García-Barriocanal (2005) y Sicilia (2006)–. Dichas ontologías permitirían definir el significado de los metadatos, las relaciones que se establecen entre ellos, y también expresarían las condiciones que garantizarían su uso correcto. Asimismo estas ontologías podrían ayudar a solventar las limitaciones anteriormente reseñadas en relación al estándar LOM. Adicionalmente, el desarrollo de dichas ontologías no necesariamente se debería acometer desde cero, de tal manera que sería posible reutilizar conocimiento general susceptible de ser reutilizado en diferentes dominios. Las ontologías que contienen información de este tipo se conocen bajo la denominación de ontologías de conocimiento general (Poli 2002).

1.2. Objetivos y aportaciones originales

El objetivo general de este trabajo de tesis es realizar una aportación significativa en el área de estándares de *e-learning*, a través de la definición de un modelo de conocimiento del dominio de los objetos de aprendizaje que permita mejorar la expresividad semántica del esquema de representación originalmente propuesto por el estándar LOM, aplicando para ello técnicas de la ingeniería del software y de la inteligencia artificial. Dicho modelo de conocimiento se orienta a mejorar las capacidades de ciertos procesos relacionados con la gestión de los objetos de aprendizaje disponibles en repositorios. Entre estos procesos se encuentran la anotación (o descripción) consistente de los objetos de aprendizaje, la búsqueda, selección y reutilización de los mismos, así como la realización de tareas de control y auditoría sobre los objetos de aprendizaje.

Para alcanzar el objetivo general propuesto, se plantean los objetivos específicos que se indican a continuación:

- O1. Revisar las limitaciones del esquema propuesto por el estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje y evaluar el impacto de estas limitaciones en los procesos de gestión de los mismos.
- O2. Analizar y proponer soluciones orientadas a solventar las limitaciones encontradas en el estándar LOM y que permitan mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje.
- O3. Evaluar y seleccionar las técnicas más apropiadas para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje.
- O4. Proponer un esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje.
- O5. Demostrar la validez de la representación efectuada y su utilidad en diferentes escenarios de aplicación.

Por su parte, las aportaciones que se derivan de este trabajo de tesis son:

- A1. Estudio crítico del estándar LOM. Dicho estudio enumera las limitaciones del estándar, entre las que se incluyen: semántica implícita, múltiples alternativas para la representación de información de naturaleza similar, definiciones imprecisas y omisiones. Esta aportación se relaciona con el objetivo O1.

- A2. Propuesta de un marco conceptual que recoge, explicita y extiende el esquema propuesto por el estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje, orientado a la resolución de las limitaciones detectadas en el estándar y a mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje. Dicho marco conceptual es independiente de las tecnologías que permitirían su implementación. Esta aportación se relaciona con el objetivo O2. Como principales aportaciones del marco conceptual propuesto se incluyen:
- A2.1. Revisión del concepto de objeto de aprendizaje y propuesta de clases de objetos de aprendizaje que se organizan en taxonomías.
 - A2.2. Determinación de las propiedades (metadatos, de acuerdo al estándar LOM) aplicables a los objetos de aprendizaje en función de las clases a las que éstos pertenecen, que da lugar a diferentes tipos de registros de metadatos.
 - A2.3. Determinación de relaciones entre los objetos de aprendizaje, así como la organización taxonómica de las mismas.
 - A2.4. Reutilización de conocimiento disponible en ontologías de conocimiento general. Este conocimiento ayuda a organizar las clases de objetos de aprendizaje y relaciones propuestas.
 - A2.5. Representación de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje en registros de metadatos separados.
 - A2.6. Definición de las condiciones que se deben cumplir para garantizar una descripción consistente de los objetos de aprendizaje.
- A3. Desarrollo de un esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, ajustado al marco conceptual propuesto. Esta aportación se relaciona con el objetivo O4. Dicho desarrollo se plasma en la creación de dos ontologías codificadas en OWL denominadas, respectivamente, ontología básica y ontología extendida. Entre las aportaciones de la primera se destacan:
- A3.1. Representación de los conceptos definidos por el estándar LOM.
 - A3.2. Disponibilidad de descripciones de los objetos de aprendizaje conformes al estándar LOM.
 - A3.3. Representación de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje.

Por su parte, entre las aportaciones principales de la ontología extendida (esta ontología se construye sobre la base de la básica), cabe destacar:

- A3.4. Inferencia de información sobre las clases de objetos de aprendizaje, las propiedades asociadas a éstas y las relaciones que se establecen entre las clases de objetos de aprendizaje.
- A3.5. Correspondencias con conceptos disponibles en ontologías de propósito general que puedan ser de interés en la descripción de los objetos de aprendizaje.
- A4. Desarrollo de un editor de objetos de aprendizaje. Dicho editor –denominado LOManager– facilita a los usuarios la descripción de los objetos de aprendizaje y permite exportar las descripciones efectuadas al esquema de representación para los objetos de aprendizaje basado en ontologías desarrollado en este trabajo de tesis. Esta aportación también se relaciona también con el objetivo O4.

Algunas de las aportaciones reseñadas han sido presentadas en diferentes publicaciones científicas. En Sicilia, García-Barriocanal, Sánchez-Alonso & Rodríguez (2004) se argumenta la necesidad de organizar los objetos de aprendizaje en clases, dada la heterogeneidad de los mismos de acuerdo a diferentes características. Por su parte en Sicilia, García-Barriocanal, Sánchez-Alonso & Rodríguez (2004) y Sicilia, Lytras, Rodríguez & García-Barriocanal (2006) se muestra cómo acometer la integración del estándar LOM y de otras ontologías relativas al ámbito del *e-learning* y de la gestión del conocimiento en ontologías de propósito general. En Rodríguez, Conesa, García-Barriocanal & Sicilia (2008) se revisa el concepto de objeto de aprendizaje y se establece una primera propuesta de clases de objetos de aprendizaje y su organización taxonómica. Dicha taxonomía distingue, por una parte, entre objetos de aprendizaje entendidos como creación intelectual y los posibles objetos de aprendizaje que constituyen las concreciones de dicha creación intelectual, y por otra, entre diferentes clases de objetos de aprendizaje derivados (como sería el caso, por ejemplo, de versiones). Las taxonomías de clases se extienden en Rodríguez, Conesa & Sicilia (2010). En este caso, la extensión se realiza atendiendo a criterios pedagógicos y en función de la estructura organizativa interna de los objetos de aprendizaje. Finalmente en Rodríguez, Conesa & Sicilia (2009) se presenta una taxonomía de relaciones entre objetos de aprendizaje y se estudia el impacto de esas relaciones en las clases de objetos de aprendizaje propuestas.

1.3. Método de trabajo

En esta sección se presentan las diferentes fases incluidas en la planificación del trabajo realizado, así como el método de evaluación seguido. Estas fases son:

1. Estudio del estado de la cuestión. Se estudian, por un lado, los principales estándares y especificaciones vinculados al *e-learning*, con énfasis en aquéllos que permiten la descripción de los objetos de aprendizaje. Entre ellos, el estándar de referencia es LOM. Por otro lado, se presenta la utilidad de las ontologías tanto en el ámbito del *e-learning* en general, como en el caso particular de los objetos de aprendizaje, en donde las ontologías pueden ser utilizadas como mecanismo para representar el conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje. Para que dicha representación sea factible se estudia el concepto de objeto de aprendizaje y se delimita su uso y alcance.
2. Descripción del contexto del problema. El problema se presenta en el ámbito de desarrollo de sistemas de *e-learning*. En dicho ámbito se plantea, entre otros, la necesidad de que la descripción de los objetos de aprendizaje que tales sistemas gestionan sean tan expresiva, desde un punto de vista semántico, como sea posible. El enfoque del planteamiento del problema parte, por un lado, de las limitaciones que presenta el estándar LOM (dicho estándar, en esencia, define cómo estructurar la descripción de los objetos de aprendizaje), y por otro, de las carencias de los esquemas de representación basados en ontologías que de dicho estándar existen en la literatura.
3. Definición de un esquema de representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje. La definición de dicho esquema propone soluciones que resuelven las carencias determinadas en la fase anterior. Ésta se realiza en dos etapas. En la primera se propone un marco conceptual, independiente de las tecnologías que habilitarían su construcción, que recoge, explícita y parcialmente extiende, el conocimiento sobre los objetos de aprendizaje propuesto por el estándar LOM. En la segunda etapa se efectúa la representación por medio de ontologías de dicho marco conceptual.
4. Evaluación del esquema de representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje. La evaluación del esquema de representación propuesto se lleva a cabo en varios ámbitos.

En concreto, se evalúa:

- a)* El esquema de representación en sí mismo, con el objetivo de demostrar que es correcto. Para ello es necesario verificar que no existen inconsistencias en el conocimiento representado.
 - b)* La completitud del esquema de representación mediante la definición de diferentes casos de ejemplo, y mediante su comparación con otros esquemas de representación propuestos en la literatura.
 - c)* La utilidad del esquema de representación a través de la propuesta de diversos escenarios de aplicación.
5. Formulación de conclusiones. Se concluye con un análisis del ámbito y grado de cobertura de los objetivos alcanzados. También se detallan líneas futuras de investigación y posibles ampliaciones del trabajo desarrollado.

1.4. Estructura del documento

La memoria de tesis se organiza en siete capítulos (incluyendo éste) y tres apéndices. En los capítulos 4, 5 y 6 se incluyen la mayor parte de las aportaciones del trabajo de tesis. Con el objetivo de facilitar la lectura, a continuación se ofrece un breve resumen de cada uno de estos capítulos y apéndices:

- En el presente capítulo se presenta el problema a resolver en este trabajo de tesis. Asimismo se recogen los objetivos y principales aportaciones del mismo, y se presenta el método de trabajo seguido.
- En el capítulo 2 se describe el estado de la cuestión en lo relativo a los objetos de aprendizaje. Se revisa qué son los objetos de aprendizaje, sus características y los beneficios que de ellos se esperan obtener. También se analizan los estándares y especificaciones –en especial el estándar LOM– que permiten describir los objetos de aprendizaje, así como los principales estándares y especificaciones que los utilizan. Asimismo se revisan los conceptos fundamentales asociados a las ontologías y la utilidad de las mismas como tecnología de representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje.

- En el capítulo 3 se detalla el planteamiento del problema. En concreto se analizan las limitaciones del estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje, así como las consecuencias que dichas limitaciones tienen en la gestión de los mismos. Asimismo se revisan, con el objetivo de contextualizar este trabajo de tesis, las carencias de los principales esquemas de representación basados en ontologías que existen del estándar LOM. También se discute la utilidad que se desprende del uso de ontologías de conocimiento general en el desarrollo de dichos esquemas de representación.
- En el capítulo 4 se propone un marco conceptual para los objetos de aprendizaje, es decir, un modelo que, a partir del análisis de las limitaciones presentadas en el capítulo anterior, y aislándose de cuestiones técnicas relativas a su posible implementación, recoge, explícita y parcialmente extiende, el conocimiento sobre los objetos de aprendizaje propuesto por el estándar LOM.
- En el capítulo 5 se detalla la representación del marco conceptual para los objetos de aprendizaje propuesto en el capítulo anterior. Dicha representación se plasma en el desarrollo de dos ontologías. La primera de estas ontologías –la denominada ontología básica– incluye, principalmente, los conceptos fundamentales definidos por el estándar LOM. La segunda ontología, denominada ontología extendida, se construye sobre la base de la anterior e incorpora las extensiones propuestas en el capítulo anterior. Asimismo también se discuten las principales limitaciones técnicas encontradas.
- En el capítulo 6 se realiza la evaluación de la representación efectuada del marco conceptual para los objetos de aprendizaje presentada en el capítulo anterior. En concreto, y de acuerdo al método de evaluación presentado en la sección 1.3, se comprueba que el esquema de representación es correcto, completo y útil.
- En el capítulo 7 se ofrecen las conclusiones del trabajo de investigación desarrollado y se esbozan posibles líneas futuras de investigación relacionadas.
- En el apéndice A se recogen las definiciones de aquellos conceptos de interés extraídos de OpenCyc² –la ontología de propósito general utilizada en este trabajo de tesis– para la representación de los objetos de aprendizaje. Por su parte, en el apéndice B se ofrece información sobre las ontologías que permiten representar

²OpenCyc: <http://www.opencyc.org/>

el marco conceptual propuesto para los objetos de aprendizaje. Finalmente en el apéndice C se presenta el editor LOManager. Entre otras funcionalidades, este editor facilita a los usuarios el proceso de descripción de los objetos de aprendizaje de acuerdo al marco conceptual desarrollado, así como la exportación de las descripciones efectuadas a la primera de las ontologías desarrolladas.

Capítulo 2

Estado de la cuestión

El universo (que otros llaman Biblioteca) se compone de un número indefinido, y tal vez infinito, de galerías hexagonales (...). Desde cualquier hexágono, se ven los pisos inferiores y superiores: interminablemente. La distribución de las galerías es invariable. (...) Por ahí pasa la escalera espiral, que se abisma y se eleva hacia lo remoto. (...) En el zaguán hay un espejo, que fielmente duplica las apariencias. Los hombres suelen inferir de ese espejo que la Biblioteca no es infinita (...); yo prefiero soñar que las superficies bruñidas figuran y prometen al infinito ...

“La biblioteca de Babel”, **Jorge Luis Borges**

En este capítulo se describe el estado de la cuestión en lo relativo a los objetos de aprendizaje. Se revisa qué son, sus características y los beneficios que de ellos se esperan obtener en el área del *e-learning*. Asimismo se analizan los estándares y especificaciones que permiten su descripción a través de metadatos, así como los principales estándares y especificaciones que necesitan utilizarlos. También se revisan los conceptos fundamentales asociados a las ontologías y su utilidad como mecanismo de representación de los objetos de aprendizaje. La descripción se realiza desde un punto de vista crítico con el objetivo de contextualizar la investigación llevada a cabo en este trabajo de tesis.

2.1. La educación a través de Internet

Existe consenso en afirmar que el acelerado desarrollo científico-técnico en general, y de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en particular, re-

presenta uno de los fenómenos más relevantes de la civilización occidental a lo largo del siglo XX.

Las TIC son la tecnología más genuina que constituye, en palabras de Castells (2005) la base material de la sociedad de la información. A su vez, la sociedad de la información es consecuencia de la evolución de procesos productivos, más concretamente de la denominada Tercera Revolución Industrial, centrada (Lucas 2000) en el tratamiento de la información y representada por los ordenadores, que son considerados la máquina por excelencia de la nueva forma de sociedad. Así pues, se puede afirmar que la sociedad de la información constituye un nuevo contexto social, cultural y económico, y, en consecuencia, las TIC también desempeñan un papel fundamental en los procesos educativos, puesto que han posibilitado un amplio abanico de alternativas de aprendizaje. Entre ellas, probablemente la más relevante es la posibilidad de ofrecer educación a distancia en la forma de *e-learning*.

En la actualidad, términos como, entre otros, aprendizaje en línea (*online learning*), *e-learning*, aprendizaje basado en la *World Wide Web* (*Web-based learning*), o enseñanza virtual se utilizan en la literatura de manera indistinta, como si fueran sinónimos. Incluso, como se muestra en Valentine (2002) y en Garrison & Anderson (2003), la definición de educación a distancia ha variado en el tiempo, adecuándose a los cambios tecnológicos. En cualquier caso, con independencia del medio o del entorno tecnológico en el que acontece el proceso de aprendizaje, es posible definir la educación a distancia como un proceso de educación en el cual la mayor parte del proceso de aprendizaje ocurre sin coincidencia en el espacio (y posiblemente tampoco en el tiempo) entre estudiante y profesor. Más precisamente, en palabras de Keegan (1995):

La educación a distancia resulta de la separación tecnológica del profesor y el estudiante, que resulta liberado de acudir a un espacio fijo (escuela, colegio, universidad) a una hora específica (horario escolar, programa de clases magistrales), para encontrarse con una persona determinada (maestro, instructor, profesor) para recibir formación o educación.

La definición previa es válida para las diferentes modalidades de educación a distancia propuestas, incluyendo desde los primeros cursos por correspondencia del siglo XIX, pasando por el uso de medios audiovisuales como la televisión tras la Segunda

Guerra Mundial, hasta la aparición de universidades virtuales y semipresenciales (modelo éste al que está tendiendo la universidad tradicional) que ofrecen a estudiantes y profesores un entorno de enseñanza-aprendizaje y otros servicios complementarios a través de un campus virtual.

El aprendizaje en línea (*online learning*), según la definición aportada por Carliner (2004), incluye cualquier tipo de aprendizaje que tiene lugar a través de un ordenador. Asimismo Carliner define el *e-learning* (o aprendizaje basado en la Web) como una forma de aprendizaje a través de un ordenador que está conectado a Internet y/o a alguna Intranet, esto es, a una red que provee recursos a usuarios autorizados. Esta diferenciación realizada por Carliner entre ambos términos, en general, no existe como tal en la literatura, de tal manera que aprendizaje en línea, *e-learning*, aprendizaje basado en la Web, o enseñanza virtual se usan indistintamente, de tal manera que, por ejemplo, Khan (1997) define el aprendizaje en línea como un enfoque innovador para proporcionar instrucción a una audiencia remota, usando la Web como medio.

En cualquier caso, las definiciones previas no reflejan el tremendo potencial del *e-learning* para transformar la educación –véase Brightman (2000) para una discusión más detallada–. De hecho, tal y como apunta Ally (2004), el aprendizaje en línea es mucho más que la mera presentación y entrega de materiales usando la Web, dado que también debe incluir como foco de atención el estudiante y el propio proceso de aprendizaje. Por ello, la definición dada por Ally, resulta más completa para entender el término *e-learning* en la actualidad:

El aprendizaje en línea incluye el uso de Internet para acceder a materiales de aprendizaje; para interactuar con el contenido, con el profesor, y con otros estudiantes; y para obtener ayuda durante el proceso de aprendizaje con el objetivo de adquirir conocimiento, para crear un sentido propio, y para crecer y desarrollarse a partir de la experiencia educativa.

Los beneficios generales del *e-learning* (y también los posibles puntos de conflicto) han sido ampliamente estudiados por diferentes autores –por ejemplo, Bates (2000) y Valentine (2002)–. A continuación se presentan, de manera esquemática, los principales beneficios asociados al *e-learning*:

- B1. Facilitan el acceso a la educación más allá de barreras temporales y espaciales.
- B2. Permiten flexibilizar y personalizar el proceso de aprendizaje en función de las necesidades de diferentes colectivos de estudiantes, e incluso en función de necesidades individuales.
- B3. Ofrecen destrezas tecnológicas para el desarrollo profesional, respondiendo así al imperativo tecnológico que requiere la sociedad de la información.
- B4. Mejoran la relación entre costes y eficacia del proceso educativo, dado que la tecnología puede ayudar a mejorar la eficacia de los costes de funcionamiento de la enseñanza.

En relación a los puntos de conflicto en el *e-learning*, se destacan:

- C1. La resistencia al cambio, especialmente relevante en el colectivo de profesores.
- C2. La posible generación de nuevos tipos de desigualdades sociales, dado que la formación basada en *e-learning* requiere un cierto nivel económico, y un conocimiento de las tecnologías en torno a las cuales se articula el proceso de aprendizaje.
- C3. La posible imposición de un modelo educativo (y en consecuencia cultural) uniforme y estandarizado, quizá no respetuoso con la diversidad cultural de los posibles ámbitos de aplicación.

Como se ha comentado anteriormente, el *e-learning* está cambiando la educación, tal y como ésta se conocía. La revolución que introduce no consiste únicamente en la utilización de las TIC como apoyo de la enseñanza tradicional, sino en la modificación de los modelos pedagógicos existentes, y su adaptación a las nuevas formas de enseñanza. En gran medida, estos nuevos modelos pedagógicos se basan en la escuela constructivista de aprendizaje, y se caracterizan –de acuerdo a Ally (2004) y Anderson (2004)– por ser modelos centrados en el estudiante, por promover un cambio en el rol del profesor y del estudiante (Rodríguez et al. (2006), Serra et al. (2005)), y por fomentar el aprendizaje cooperativo.

En relación al estudiante, se espera que éste asuma una actitud proactiva, autónoma y responsable, de tal manera que sea él quien ejerza realmente el control y la gestión de su propio proceso de aprendizaje, estableciendo las interacciones, sean sincrónicas o

asíncronas más adecuadas, no únicamente con los materiales de aprendizaje disponibles (así como otras fuentes de información y recursos), sino también con otros estudiantes y con el profesor. Por su parte, el profesor, más que un trasmisor de conocimiento, debe caracterizarse por tutorizar, facilitar, motivar y guiar el proceso de aprendizaje del estudiante, de manera que éste sea capaz de construir conocimiento propio y significativo. Finalmente, el aprendizaje cooperativo, debe promover y orientar un tipo de aprendizaje basado en la potenciación de habilidades metacognitivas, como serían aprender a aprender, y resolver problemas trabajando en equipo.

Con respecto a los materiales didácticos, si bien su elaboración y contenido debe de tener en cuenta, de manera incuestionable, aspectos pedagógicos como, por ejemplo, el modelo y las teorías de diseño instruccional más apropiadas, también es necesario considerar la tecnología que se empleará en la búsqueda, evaluación, adquisición y utilización de dichos materiales didácticos. Es decir, la calidad de los materiales didácticos tiene dos aspectos fundamentales: por un lado la calidad del contenido en sí, y por otro la facilidad para ser reutilizado en diferentes contextos educativos, o resusabilidad, considerada un factor de calidad cuando se trata de contenidos educativos orientados a la Web (Sicilia & García 2003). Adicionalmente, la reutilización también tiene como ventaja añadida el beneficio económico que de ella se desprende –para una discusión más detallada véase, por ejemplo, Downes (2001)–.

Por todo ello, el *e-learning*, entendido como sistema complejo, incluye componentes institucionales, individuales, técnicos y sociales, y extiende su ámbito de actuación a dos disciplinas claramente diferenciadas: las referidas a los procesos de enseñanza-aprendizaje propiamente dicho, y las relativas a los medios informáticos y de comunicación utilizados durante el proceso de aprendizaje. Los estudios referidos al primer campo pertenecen al ámbito de la pedagogía, sociología y psicología, mientras que la informática y la telecomunicación son las disciplinas que describen, entre otros aspectos, la infraestructura hardware y software necesaria, así como la definición de estándares para la creación, empaquetado y transmisión de los materiales didácticos.

La infraestructura hardware y software queda materializada mediante el sistema gestor de aprendizaje (*Learning Management System*, LMS), el cual ofrece una serie de servicios.

Dichos servicios posibilitan:

1. El acceso, por parte de estudiantes y profesores, a diferentes tipos de recursos educativos, por ejemplo, acceso a los materiales didácticos, actividades de evaluación y otras fuentes de información complementarias.
2. La interacción (de manera síncrona y asíncrona) entre estudiantes, y entre éstos y el profesor a través de diferentes canales de comunicación con el objetivo de crear una comunidad virtual.
3. La monitorización de la actividad desarrollada por estudiantes y profesores (evaluación de estudiantes, medición de su participación en los diferentes canales de comunicación, control de acceso a los distintos recursos educativos, etc.) no únicamente a efectos de auditoría, sino también como requisito previo a la flexibilización y personalización el proceso de aprendizaje.
4. El diseño y elaboración de cursos, por ejemplo, a partir de la reutilización de materiales didácticos ya existentes que se pueden componer de diversas maneras dependiendo de su contexto de uso educativo. Para ello, es necesario que el LMS pueda aplicar técnicas que posibiliten la búsqueda, evaluación y adquisición de materiales didácticos almacenados en repositorios.

En relación al último punto, en primer lugar, como base para la reutilización de materiales didácticos, es necesario que los materiales didácticos se puedan descomponer en piezas más pequeñas, denominadas objetos de aprendizaje (*learning objects*).

En segundo lugar, los objetos de aprendizaje deben estar convenientemente etiquetados a través de la definición de metadatos, es decir, los objetos de aprendizaje deben tener asociadas propiedades que describan de manera significativa los objetos de aprendizaje, de tal manera que los usuarios puedan valorar su interés sobre los objetos de aprendizaje sin necesidad de acceder a sus contenidos. Adicionalmente, debe existir consenso en la definición del conjunto de metadatos a usar en la descripción de los objetos de aprendizaje, para favorecer al máximo su búsqueda, evaluación, adquisición y utilización, ya no dentro de una única institución, sino entre diferentes instituciones. En este sentido, la existencia de estándares (por ejemplo, el estándar LOM (2002)) que definen la estructura y el contenido de los metadatos de los objetos de aprendizaje, la

forma de empaquetarlos y utilizarlos, resulta esencial en el desarrollo con éxito del *e-learning*. La importancia del uso y gestión de metadatos en diversas áreas de la ciencia informática se examinan, desde una perspectiva histórica, en Sen (2004).

En tercer lugar, el etiquetado de los objetos de aprendizaje debe tener en cuenta cuestiones de significado, es decir, los metadatos deben ser expresivos desde un punto de vista semántico, con el objetivo de favorecer búsquedas de calidad. Una manera de conseguir esta expresividad semántica es conectar las definiciones de los metadatos de los objetos de aprendizaje con conceptos disponibles ontologías (Stojanovic et al. 2001) de manera que, por ejemplo, se puedan derivar automáticamente el valor de ciertos metadatos a partir de otros previamente definidos, y permitiendo también una mejor definición de las restricciones de integridad asociadas a los metadatos. En este sentido, es importante destacar que la Web semántica (Berners-Lee et al. 2001) propugna que las ontologías son el elemento esencial para expresar semántica, de manera que se puedan realizar búsquedas más exactas en la Web, y facilitar la interoperabilidad entre diferentes sistemas.

Precisamente, el enriquecimiento semántico de metadatos educativos mediante el uso de ontologías de propósito general constituye el núcleo central sobre el que se articula este trabajo de tesis. Una vez introducidos los principales elementos a considerar, el resto del capítulo resume el estado actual de las investigaciones sobre dichos elementos. En primer lugar se presenta el paradigma de los objetos de aprendizaje, su definición y utilidad, los esfuerzos de estandarización de los mismos, así como los repositorios que almacenan los objetos de aprendizaje. En segundo lugar, se revisan los conceptos más relevantes asociados a las ontologías y la Web semántica. Finalmente, se discutirá el uso de ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje y de sus metadatos.

2.2. El paradigma de los objetos de aprendizaje

En esta sección se revisan, desde un punto de vista crítico, las definiciones más importantes del concepto de objeto de aprendizaje, y se proporciona una definición que sirve de referencia para este trabajo de tesis. Además se abordan las características fundamentales asociadas a los objetos de aprendizaje, entre las que destaca su capacidad

para ser reutilizados en diferentes contextos de uso educativo. Asimismo se analizan los estándares y especificaciones más relevantes que de manera directa o indirecta se relacionan con los objetos de aprendizaje, y las cuestiones relativas a su almacenamiento en repositorios.

2.2.1. Definiciones del concepto de objeto de aprendizaje

Desde el inicio de la aplicación de las TIC en la educación, ha existido una gran controversia respecto a la definición del concepto objeto de aprendizaje, de tal manera que es difícil encontrar una definición suficientemente compartida por la comunidad interesada en la investigación, desarrollo y uso de los objetos de aprendizaje. En la literatura es posible encontrar artículos de referencia como los de Polsani (2003), Sosteric & Hesemeier (2002), McGreal (2004) o Wiley (2002) en los que se realizan una revisión de diferentes definiciones propuestas del concepto de objeto de aprendizaje.

En opinión de estos autores, la coexistencia de tantas definiciones refleja una seria falta de claridad conceptual y de reflexión acerca del concepto de objeto de aprendizaje (Polsani 2003). Adicionalmente, muchas de las definiciones son tan genéricas que, a efectos prácticos, resultan poco útiles (Sosteric & Hesemeier 2002, McGreal 2004, Wiley 2002). Por ello, diversos investigadores y organismos, han elaborado su propia definición, restringiéndola según sus necesidades. Esto ha causado, en palabras de Wiley, que haya tantas definiciones del término objeto de aprendizaje como agentes implicados en su utilización. Incluso, de acuerdo a McGreal, alguna de estas definiciones adolecen del problema contrario, siendo de aplicación exclusiva en una organización concreta.

A continuación se presentan, desde un punto de vista crítico, algunas de las definiciones más relevantes. El estándar LOM (2002) define objeto de aprendizaje como:

Cualquier entidad, digital o no digital, que puede ser usada para el aprendizaje, la educación o la enseñanza.

Esta definición es extremadamente genérica, en opinión de autores como Polsani (2003) o Wiley (2002), para que se pueda usar de manera significativa. De hecho, en McGreal (2004), se comenta que la definición es tan genérica como para ajustarse desde a algo tan pequeño como una gota de agua, como hasta algo tan vasto como un

océano. El estándar LOM, además de recursos educativos digitales, cita como ejemplos de objetos de aprendizaje a personas, a organizaciones, así como a todo tipo de acontecimientos referenciados durante el proceso de aprendizaje. Por ello, Wiley (2002) restringe la definición previa, proponiendo la siguiente:

Cualquier entidad digital que pueda ser reutilizada como soporte para el aprendizaje.

Las aportaciones de la definición de Wiley son, en primer lugar, restringir las entidades susceptibles de ser consideradas objetos de aprendizaje, proponiendo un conjunto de elementos más homogéneo, de tal manera que la naturaleza de los objetos de aprendizaje debe ser necesariamente digital. En segundo lugar, enfatiza en la definición una característica fundamental de los objetos de aprendizaje, esto es, la posibilidad de que puedan ser reutilizados en diferentes experiencias educativas. En cualquier caso, y como reconoce el propio autor, la definición continua siendo demasiado amplia.

Para Polsani (2003), cualquier definición de objeto de aprendizaje debe reflejar claramente dos de sus principios conceptuales fundamentales: primero, el hecho que los objetos de aprendizaje deben ser reutilizables, y segundo, que deben tener asociada una intención educativa, es decir, deben de estar dotados de un contexto (o marco) educativo y de un contenido educativo. Por ello, propone la siguiente definición, una de las más citadas en la literatura:

Unidad didáctica independiente y autocontenida predispuesta para su reutilización en diversos contextos educativos.

Otros autores, como Mills (2002), Sosteric & Hesemeier (2002) o McGreal (2004) proporcionan definiciones en la línea de la de Polsani, poniendo de relieve también el hecho que los objetos de aprendizaje tienen que tener asociado un propósito pedagógico para ser considerados como tales, y deben ser reutilizables.

Mientras que no existe un consenso en la definición del concepto de objeto de aprendizaje, es sorprendente reseñar que existe un amplio consenso (Rehak & Mason 2004), con leves cambios en la terminología usada, sobre cuáles serían las características deseables de los objetos de aprendizaje. Estas características deseables son, según Longmire (2000b), las que se enumeran a continuación:

- Modular, autocontenido y transportable entre aplicaciones y entornos.
- Satisface un único objetivo de aprendizaje.
- Está orientado a un público amplio, es decir, se puede adaptar a un público diferente del público para el que fue pensado originalmente.
- Es coherente y unitario dentro de un esquema determinado, de manera que mediante un número limitado de meta-etiquetas se puede captar la idea principal.
- No está en un formato específico, por lo que puede reutilizarse para diferentes propósitos sin que se alteren sus valores esenciales, ni el contenido de su texto, imágenes o datos.

Las características previas, de acuerdo a Polsani (2003), quedan reformuladas de la siguiente manera:

- Accesibilidad, es decir, los objetos de aprendizaje se etiquetan con metadatos estandarizados que facilitan su indexación y recuperación.
- Reutilización, esto es, una vez creados, los objetos de aprendizaje pueden usarse en diferentes contextos de uso educativo.
- Interoperabilidad (o portabilidad), es decir, los objetos de aprendizaje deben poder operar en diferentes plataformas hardware y software.

Por su parte Rehak & Mason (2004), a las características previas, añaden una característica más, la perdurabilidad, entendida como la inmunidad ante los cambios hardware y software de los entornos que utilizan los objetos de aprendizaje.

Para finalizar la revisión de las definiciones del concepto de objeto de aprendizaje, Sánchez-Alonso (2005) propone una definición que considera el estado actual de la tecnología, la naturaleza digital de los objetos de aprendizaje y su intención educativa, así como la orientación de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje hacia determinados procesos especializados relacionados con la gestión de los objetos de aprendizaje. Dicha definición se expresa de la siguiente manera:

Unidad didáctica en formato digital, independiente, autocontenida y perdurable, predispuesta para su reutilización en diversos contextos educativos

mediante la inclusión de información autodescriptiva en forma de metadatos estandarizados específicamente orientados a la automatización de procesos de gestión.

Como primera crítica a algunas de las definiciones previas, comentar que, considerar como objetos de aprendizaje únicamente a aquéllos que tienen naturaleza digital, oculta la posibilidad que un objeto de aprendizaje (entendido éste como una pieza de contenido con intención educativa), por ejemplo, pueda tener asociados diferentes formatos de representación final (de naturaleza digital, atendiendo al entorno en el que se desarrolla el *e-learning*). Todos estos objetos de aprendizaje van a compartir una serie de características comunes (representadas en forma de metadatos, tal y como resalta la definición de Sánchez-Alonso), situación que queda escondida en alguna de las definiciones previas (por ejemplo la de Wiley dado que, de acuerdo a dichas definiciones, serán tratados como objetos de aprendizaje diferentes, no relacionados no entre sí. En la misma línea, las definiciones previas no consideran de manera explícita que pueden existir diferentes tipos (o clases) de objetos de aprendizaje. A modo de ejemplo, esta distinción permitiría reflexionar sobre los metadatos que son aplicables a cada objeto de aprendizaje, en función de su tipología. Estas cuestiones serán tratadas en profundidad en el capítulo 4.

De manera similar, como segunda crítica, resaltar el hecho que la realidad es bastante más compleja de tal manera que, a efectos prácticos, algunas de las características que deberían estar asociadas a los objetos de aprendizaje, no se están cumpliendo, y pertenecen al ámbito teórico. Algunas de estas características son que los objetos de aprendizaje son autocontenidos, independientes o que satisfacen un único objetivo de aprendizaje. Dichas características dependen en gran medida, tal y como se verá en la subsección 2.2.2, de la granularidad de los objetos de aprendizaje. De hecho, ante la disparidad de criterios en el diseño y creación de éstos, el estándar LOM (así como otras especificaciones afines) incorporan metadatos específicamente orientados a capturar las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje.

Por todos estos motivos, en este trabajo de tesis, se propone la siguiente definición que constituye una adaptación de la propuesta por Sánchez-Alonso:

Unidad didáctica para la que existen disponibles una o más representaciones en formato digital, predispuesta para su reutilización en diversos contextos

de uso educativo mediante la inclusión de información autodescriptiva y relevante en función de su tipología en forma de metadatos estandarizados específicamente orientados a la automatización de procesos de gestión.

Las aportaciones de la definición propuesta se resumen de la siguiente manera:

1. Enfatiza las características de los objetos de aprendizaje sobre las que existe un mayor consenso: su intención pedagógica y su capacidad para ser reutilizados, a la vez que relaja características que, aunque deseables, son de difícil cumplimiento.
2. Matiza el hecho de un mismo objeto de aprendizaje puede tener asociados distintos formatos de representación final, sin que ello signifique que se trate de objetos de aprendizaje diferentes o no relacionados entre sí.
3. Explicita el hecho que pueden existir diferentes tipos de objetos de aprendizaje.
4. Resalta la importancia que la descripción de los objetos de aprendizaje mediante metadatos no únicamente está orientada a personas, sino también a los agentes software que gestionan los objetos de aprendizaje.

2.2.2. La reutilización de los objetos de aprendizaje

La idea de la reutilización de los recursos de aprendizaje es tan antigua como la propia institucionalización de la enseñanza. El ejemplo más claro de compartición de recursos educativos en la enseñanza más tradicional (en este caso se trataría de recursos educativos físicos) sería el de los libros de texto.

Por lo tanto, no es de extrañar, como ponen de manifiesto varias de las definiciones –por ejemplo, Polsani (2003) y Wiley (2002)– expuestas en la sección anterior, que una de las características fundamentales de los objetos de aprendizaje sea la capacidad de ser reutilizados en diferentes experiencias o contextos de uso educativo.

Entre las ventajas que ofrece la reutilización de recursos educativos digitales en un entorno de *e-learning*, la más obvia e inmediata es el beneficio económico que de ella se desprende. Por ejemplo, Downes (2001) argumenta que ninguna institución dedicada al *e-learning* que produzca sus propios recursos educativos podrá competir con instituciones que compartan sus recursos educativos.

Básicamente, la producción propia incurre en dos problemas que causan que dicha producción no resulte rentable. En primer lugar, la producción propia de recursos educativos se suele acometer desde cero, y, en segundo lugar, se suele aplicar a un número reducido de estudiantes. Por lo tanto, para disminuir costes, hay que intentar evitar producir materiales educativos desde cero, e intentar que los mismos puedan interesar a una audiencia potencial tan amplia como sea posible.

Por todo esto, resultan de interés iniciativas como OER Commons¹ u OpenCourseWare (OCW). Mientras que OER Commons recoge materiales de aprendizaje (de distintos niveles educativos), tecnología e investigación, y permite añadir enlaces a dichos materiales y proyectos relativos a la educación en abierto, OCW es una iniciativa promovida por el Instituto de Tecnología de Massachusetts² desde el año 2001 (y extendida a otras universidades e instituciones³), a través de la cual se ofrece en abierto el material docente que sus profesores utilizan en las enseñanzas.

Longmire (2000*b*, 2000*a*) añade, también desde una perspectiva de negocio, que el valor de un recurso educativo se incrementa cada vez que es reutilizado, no únicamente desde un punto de vista de reducción de costes, sino también desde un punto de vista de ahorro en tiempo de desarrollo, a la vez que se posibilita la comercialización de recursos educativos que se puedan usar en diferentes experiencias educativas.

Al margen de estos beneficios económicos, la reutilización de recursos educativos aporta otra serie de ventajas cualitativas, que se resumen a continuación:

- Facilitan la elección de recursos educativos en base a criterios de calidad (Downes 2001), con el factor añadido que dichos recursos están validados por la organización responsable de su creación (Hamel & Ryan-Jones 2002).
- Posibilitan la personalización del aprendizaje (Longmire 2000*b*, 2000*a*), dado que los recursos diseñados para ser reutilizados resultan ideales para elaborar materiales didácticos a medida que satisfagan las necesidades de aprendizaje de organizaciones o estudiantes individuales.

¹<http://www.oercommons.org/community>

²<http://ocw.mit.edu/index.htm>

³Por ejemplo, en el caso de España esta iniciativa queda recogida a través de OCW UNIVERSIA (<http://ocw.universia.net/es/>), abarcando también a diversos países latinoamericanos.

- Facilitan un aprendizaje basado en competencias (Longmire 2000*b*, 2000*a*), esto es, un aprendizaje basado en el desarrollo y adquisición de habilidades, conocimiento y actitudes. En este enfoque educativo, uno de los problemas detectados es la ausencia de contenidos apropiados que sean suficientemente modulares para ser verdaderamente adaptativos. El uso de objetos de aprendizaje de granularidad apropiada y convenientemente etiquetados mediante metadatos que recojan las competencias promovidas por los objetos de aprendizaje, puede ser usado para solventar las necesidades individuales de los estudiantes.

Llegados a este punto, la cuestión central es la necesidad del paradigma de los objetos de aprendizaje como elemento de construcción básico que, a su vez, posibilite la reutilización de recursos educativos, puesto que la reutilización de contenido digital previamente existente no es nuevo, sino que se está realizando desde los inicios de la propia Web. Tal y como indican diversos autores –por ejemplo, Sicilia (2005)– son, al menos, dos los aspectos novedosos que se introducen en la reutilización de los objetos de aprendizaje. Estos aspectos son los siguientes:

- La reutilización se basa en la creación y utilización de metadatos, esto es, de un conjunto de descripciones externas a los propios objetos de aprendizaje. Adicionalmente, estos metadatos están consensuados, puesto que existen organizaciones dedicadas a su estandarización.
- Estos metadatos, si se proporcionan los lenguajes adecuados, permiten desarrollar herramientas que facilitan la búsqueda, localización, manipulación e intercambio de los objetos de aprendizaje almacenados en repositorios.

El segundo punto está relacionado con las propiedades de accesibilidad e interoperabilidad de los objetos de aprendizaje apuntadas por Polsani (2003) las cuales son, de hecho, precondiciones necesarias para la reutilización de los objetos de aprendizaje (Hamel & Ryan-Jones 2002, Boyle & Cook 2001).

Adicionalmente, los objetos de aprendizaje deben reunir otras características, compartidas por diversos autores (Longmire 2000*a*, Boyle & Cook 2001, Hamel & Ryan-Jones 2002, Wiley 2002, Polsani 2003) que deben ser tenidas en cuenta durante su proceso de diseño y creación, para que se alcance un alto grado de reutilización. Estas características son que los objetos de aprendizaje deben ser de granularidad pequeña,

deben poder ser utilizados en diversos contextos de uso educativo, deben ser neutrales desde un punto de vista de diseño instruccional, deben incluir un nivel de acoplamiento mínimo (en otras palabras, deben ser autocontenidos, intentando minimizar las referencias a otros objetos), deben separar el contenido de su forma de presentación y deben hacer un uso consistente del lenguaje dentro de un área de conocimiento, evitando realizar referencias locales o culturales que comprometan su universalidad.

Uno de los problemas principales en el diseño de los objetos de aprendizaje es decidir su granularidad óptima, dado que cuanto menor sea la granularidad, mayor será el esfuerzo requerido para la definición de los metadatos de los objetos de aprendizaje (Wiley 2002). En esta línea, Longmire (2000a) y Boyle & Cook (2001), como método para decidir la granularidad, proponen que un objeto de aprendizaje satisfaga un único objetivo de aprendizaje, mientras que Polsani (2003) sugiere que un objeto de aprendizaje contenga una idea principal y unas pocas ideas relacionadas con dicha idea principal. Otros autores y organismos (por ejemplo, el Wisconsin Online Resource Center) proponen granularidades basadas en el tiempo de dedicación o de esfuerzo de un estudiante, pero estas medidas son subjetivas y, en consecuencia, arbitrarias.

La finalidad última que se deriva de las características y recomendaciones previas es que los objetos de aprendizaje puedan ser usados en diversos contextos de uso educativo, en base a su ensamblaje y secuenciación posterior, separando el proceso de creación de los objetos de aprendizaje del proceso de su uso posterior. Durante el proceso de uso es cuando se acaba de dotar a los objetos de aprendizaje de una intención pedagógica y de un contexto, de acuerdo a una teoría de diseño instruccional, para obtener una experiencia pedagógica en la que los estudiantes vean cumplidas sus expectativas de aprendizaje (Feldstein 2002). En relación a esta cuestión, también es necesario establecer mecanismos que permitan medir la capacidad de reutilización de los objetos de aprendizaje, relacionando sus posibles contextos de uso educativo con su nivel de adecuación o usabilidad en cada uno de esos contextos, tal y como se sugiere en Sicilia & García (2003) y García-Barriocanal et al. (2007).

Para finalizar, es importante destacar que posiblemente una de las claves para facilitar la reutilización de los objetos de aprendizaje pasa por la determinación de que se entiende por contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje, dado que éste se puede abordar desde diferentes perspectivas. En este sentido, es especialmente

relevador el trabajo realizado por Mohammed & Mohan (2007), donde se establecen diversas categorías de contexto. Estas categorías son:

- Contexto temático, describe el contenido de los objetos de aprendizaje.
- Contexto pedagógico, trata con el conocimiento y la información sobre los procesos de aprendizaje que requieren del uso de objetos de aprendizaje.
- Contexto de estudiante, describe las características de los destinatarios de los objetos de aprendizaje.
- Contexto organizativo, trata con la organización estructural de los objetos de aprendizaje, y cómo éstos se ordenan.
- Contexto histórico/estadístico, describe los patrones sociales que se derivan del uso de los objetos de aprendizaje.

Una parte importante de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje incorporan información valiosa acerca de los posibles contextos de uso educativo, desde cualquiera de las categorías de contexto previamente presentadas. Adicionalmente, el valor asignado a estos metadatos puede variar en función de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. Estos metadatos, de acuerdo a Recker & Wiley (2001), se denominan extrínsecos, en contraposición a aquellos metadatos (intrínsecos) cuyos valores se van a mantener inmutables, con independencia de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. En consecuencia, la identificación de estos metadatos y su representación también son un elemento clave en la reutilización de los objetos de aprendizaje, tal y como se pondrá de manifiesto en este trabajo de tesis.

2.2.3. Estándares y especificaciones para describir objetos de aprendizaje

Los estándares y especificaciones tienen como propósito alcanzar un consenso dentro de una comunidad de desarrollo y uso, con el objetivo de garantizar la interoperabilidad, esto es, el acceso, la reutilización, la compartición, el intercambio, la portabilidad y la compatibilidad entre implementaciones, presentes y futuras, realizadas de manera independiente, aunque de acuerdo a estos estándares y especificaciones.

Mientras las especificaciones evolucionan de manera relativamente rápida y ágil dentro de una comunidad de interés, los estándares siguen un proceso más lento y complejo, puesto que son definiciones que tienen una función reguladora (o normativa), y deben de ser aprobados por organizaciones reconocidas, como sería el caso, por citar algunas, de ISO (International Organization for Standardization), ANSI (American National Standards Institute), o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineer), o bien ser aceptados como estándares *de facto* por la industria.

En el caso del *e-learning*, diversos organismos e instituciones, tanto públicos como privados, colaboran (o han colaborado) en el desarrollo de estándares y especificaciones que permitan desarrollar una industria sólida ligada al área del *e-learning* que incluye desde recomendaciones para el desarrollo del contenido asociado a los objetos de aprendizaje, pasando por la definición de metadatos para la descripción de los mismos, la definición de los comportamientos y funcionalidades que los repositorios y los LMS deben proporcionar, la especificación e intercambio de información relativa a estudiantes, o la definición y estandarización de competencias.

Es importante destacar que sobre estándares y especificaciones existen en la literatura diferentes revisiones, entre las que se destacan la realizada por Anido et al. (2002), la de Duval (2004) y la de Friesen (2005). Asimismo, desde la perspectiva de aprendizaje adaptativo personalizado, destaca el estudio realizado por Aroyo et al. (2006) donde se presenta una revisión y propuesta de integración de estándares y especificaciones de *e-learning* con aspectos de la Web semántica. No obstante, el trabajo más exhaustivo y actualizado en relación a este tema es el que lleva a cabo el observatorio de estándares de tecnologías educativas del CEN⁴ (Comité Européen de Normalisation) a través, entre otros, de la publicación de un informe técnico anual (CEN-LTSO 2011).

En base a las fuentes previas, a continuación se examinan de manera sucinta las instituciones, junto con algunas de sus iniciativas, que se consideran relevantes a efectos de este trabajo de tesis.

El IMS Global Learning Consortium⁵ nace como proyecto en 1997 bajo el amparo de EDUCAUSE, siendo uno de los proyectos más ambiciosos, tanto por número de

⁴CEN WS-LT Learning Technologies Standards Observatory: <http://www.cen-ltso.net/>

⁵IMS GLC: <http://www.imsglobal.org/>

áreas de trabajo como por especificaciones producidas (todas ellas disponibles en su sitio Web) e instituciones involucradas. Entre estas especificaciones, interrelacionadas entre ellas, se destacan:

- La especificación IMS *Content Packaging* que define la descripción y empaquetado de materiales educativos en estructuras más complejas, por ejemplo, cursos.
- La especificación IMS *Learning Design* (IMS LD) que permite que un determinado diseñador (pedagogo, profesor etc.) pueda estructurar, de acuerdo al enfoque pedagógico que estime más conveniente, diseños de aprendizaje, es decir, una secuencia de materiales educativos y actividades relacionadas (Koper & Tattersall 2005) previamente empaquetados, de acuerdo a los objetivos pedagógicos que se pretenden alcanzar.
- La especificación IMS *Simple Sequencing* que describe como un LMS debe gestionar, en tiempo de ejecución, los diseños para el aprendizaje que se hayan definido, en función del uso y los resultados obtenidos por los estudiantes que participan en la experiencia educativa.
- La especificación IMS *Question & Test Interoperability* (IMS QTI) que describe como representar preguntas y respuestas en un test de aprendizaje, y cómo éste se puede intercambiar entre LMS.
- La especificación IMS *Common Cartridge* (IMS CC) orientada a la distribución de diferentes tipos de contenidos para el aprendizaje que puedan ser utilizados por LMS que implemente mecanismos de importación de este tipo de paquetes. La especificación está construida sobre la base IMS *Content Packaging* y también permite incluir objetos de aprendizaje desarrollados de acuerdo a IMS QTI.
- La especificación IMS *Digital Repositories* (IMS DRI) que define las funcionalidades a proveer por un repositorio que almacena objetos para el aprendizaje, como serían la búsqueda, localización y envío, a partir de la consulta de los metadatos que describen los objetos para el aprendizaje.
- La especificación IMS *Learner Information Package* (IMS LIP) que describe el conjunto de datos relevante para intercambiar información sobre estudiantes como sería, por ejemplo, datos personales, intereses de aprendizaje, competencias, cursos realizados etc.

- La especificación IMS *Reusable Definition of Competency or Educational Objective* (IMS RDCEO) que define un modelo común para la descripción de competencias de un plan de aprendizaje, ya sea en forma de prerequisites o como resultados a alcanzar.

El IEEE es, desde una perspectiva histórica, la primera organización de estándares que creó, hacia 1997, un primer comité (el Learning Technology Standards Committee⁶ (IEEE LTSC)), organizado en grupos de trabajo, centrado específicamente en la estandarización de las tecnologías del aprendizaje, aunque es importante destacar que rápidamente se unieron el CEN e ISO, este último a través del subcomité ISO/IEC JTC1 SC36. Los grupos de trabajo activos son los que se describen a continuación:

- El grupo de trabajo de lenguajes para la expresión de derechos digitales (Digital Rights Expression Language (DREL) Working Group, WG4⁷) que tiene como objetivo expresar y gestionar las condiciones y permisos de uso de los objetos de aprendizaje. La estandarización y representación de esta información, garantiza que los derechos asociados al autor y/o entidad que publique un objeto de aprendizaje serán preservados.
- El grupo de trabajo de gestión de instrucción gestionada por ordenador (Computer Managed Instruction (CMI) Working Group, GW11⁸). El objetivo principal es la definición de modelos que permitan la cooperación entre diversos LMS para posibilitar, entre otros, el intercambio de cursos, su modificación y ampliación, así como permitir el análisis de los resultados obtenidos por los estudiantes. Los estándares desarrollados se basan en las experiencias previas de la AICC (Aviation Industry CBT Committee) y han tenido amplia difusión al haber sido adoptados por iniciativas como la ADL (Advanced Distributed Learning Network), la cual será presentada dentro de esta misma sección.
- El grupo de trabajo en metadatos de los objetos de aprendizaje (Learning Object Metadata (LOM) Working Group, WG12⁹) que define el conjunto de metadatos

⁶IEEE LTSC: <http://www.ieeeltsc.org:8080/Plone>

⁷IEEE LTSC WG4: <http://www.ieeeltsc.org:8080/Plone/working-group/digital-rights-expression-language-working-group-4/digital-rights-expression-language-drel-working-group-4>

⁸IEEE LTSC WG11: <http://www.ieeeltsc.org:8080/Plone/working-group/computer-managed-instruction-cmi-working-group-11/computer-managed-instruction-cmi-working-group>

⁹IEEE LTSC WG12: <http://www.ieeeltsc.org:8080/Plone/working-group/learning-object-metadata-working-group-12/learning-object-metadata-lom-working-group-12>

a usar en la descripción de los objetos de aprendizaje con el objetivo que los LMS puedan gestionar, localizar, evaluar e intercambiar objetos de aprendizaje distribuidos en diferentes repositorios. El principal resultado de este grupo de trabajo es el estándar IEEE LOM (o simplemente estándar LOM) el cual se detallará en la sección 2.3.

- El grupo de trabajo en modelos de agregación de recursos (Resource Aggregation Models for Learning, Education and Training RMLT Working Group, WG13¹⁰) cuyo objetivo es la definición de un modelo conceptual que incluye una ontología que permite la interpretación, compartición e interoperabilidad de recursos digitales que han sido agregados siguiendo diferentes formatos como sería el caso, por ejemplo, del anteriormente citado IMS *Content Packaging*.
- El grupo de trabajo de definición de competencias (Competency Data Standards Working Group, WG20¹¹) que tiene por objetivo describir, referenciar y compartir definiciones de competencias en el contexto del *e-learning*, tomando como punto de partida el trabajo realizado por IMS RDCEO.

Entre los grupos de trabajo disueltos dentro del IEEE LTSC, destaca el WG2 que definió un modelo destinado a la caracterización de estudiantes, siguiendo una línea similar a la especificación IMS LIP –en Chatti et al. (2005) se presenta una comparativa entre ambas propuestas–. El resultado fue el estándar de información pública y privada de estudiantes (conocido como IEEE PAPI). En la actualidad, el trabajo desarrollado por el IEEE LTSC en relación a este tema, ha sido transferido al ISO/IEC JTC1 SC36.

Otra de las iniciativas reconocidas y ampliamente difundidas dentro del ámbito del *e-learning*, junto con el IMS Global Consortium y el IEEE LTSC, es la ADL¹². La ADL, creada a instancia del departamento de defensa de los EEUU en 1997, tiene como objetivo asegurar el acceso, en cualquier momento y siempre que se requiera, a la educación y a contenidos de alta calidad que puedan ser personalizados de acuerdo a las necesidades específicas de cada estudiante. Más que promover el desarrollo de nuevas especificaciones desde cero, promueve el desarrollo e implementación de especificaciones

¹⁰IEEE LTSC WG13: <http://www.ieeeltsc.org:8080/Plone/working-group/resource-aggregation-model-for-learning-education-and-training-ramlet-working-group-13/resource-aggregation-model-for-learning-education-and-training>

¹¹IEEE LTSC WG20: <http://www.ieeeltsc.org:8080/Plone/working-group/competency-data-standards-working-group-20/competency-data-standards-working-group-20>

¹²ADL: <http://www.adlnet.gov/>

ya existentes en base a su armonización e integración. Su propuesta, SCORM (*Sharable Content Object Reference Model*), aspira a convertirse en el modelo final único en el área del *e-learning*, hacia el que converjan el resto de iniciativas, englobando varias de las especificaciones y estándares descritos anteriormente, como sería el estándar LOM y las especificaciones de IMS sobre secuenciación, empaquetado y diseño de contenidos.

Para finalizar, en relación a los esfuerzos por definir los metadatos que describen los objetos de aprendizaje, es importante destacar que LOM no es la única propuesta de esquema de metadatos. De hecho, LOM tiene sus orígenes en los trabajos realizados por el IMS Global Consortium y ARIADNE (Alliance for Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe¹³). Asimismo LOM también es compatible con Dublin Core¹⁴, la otra especificación de referencia de metadatos para la descripción de los objetos de aprendizaje. Por su parte, MPEG-7¹⁵ es el estándar más relevante para la descripción de contenidos multimedia, concretamente audio y vídeo.

La propuesta de metadatos realizada por Dublin Core considera dos niveles de metadatos, que en términos de Dublin Core se denominan *Simple* y *Qualified*. El núcleo básico (nivel *Simple*) consta de 15 elementos y ha sido ratificada como estándar por organismos como ANSI (ANSI/NISO Standard Z39.85-2007) e ISO (ISO Standard 15836:2009). El nivel *Qualified* incluye algunos metadatos adicionales, y diversos refinamientos de los metadatos para ampliar o restringir su significado. El reducido número de metadatos del núcleo básico (en contraposición a LOM que considera 45 metadatos) y en consecuencia, su simplicidad de uso, es una de las claves de su adopción. Como desventaja, las descripciones de los objetos de aprendizaje realizadas mediante Dublin Core son menos detalladas que las que se pueden hacer a través de LOM. Esta situación se pone especialmente de manifiesto en el caso de metadatos que capturan información sobre los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. Los motivos son debidos a que, de manera deliberada (Recker & Wiley 2001), Dublin Core en su núcleo básico sólo trata metadatos intrínsecos hecho que puede dificultar la reutilización de los objetos de aprendizaje, tal y como se ha presentado en la subsección 2.2.2. Mientras que LOM es el esquema de metadatos elegido por el IMS Global

¹³ARIADNE: <http://www.ariadne-eu.org/>

¹⁴DCMI: <http://dublincore.org/>

¹⁵MPEG-7: <http://iiss039.joanneum.at/cms/index.php?id=84>

Consortium o la ADL, Dublin Core es el esquema base de metadatos sobre el que se asientan propuestas como GEM¹⁶ o EdNA¹⁷.

2.2.4. Repositorios de objetos de aprendizaje

Los objetos de aprendizaje, así como los metadatos que los describen, se almacenan de manera permanente en repositorios. De manera genérica, Los objetivos de estos repositorios (Akeroyd 2005) son, por una parte, garantizar la preservación, disseminación y organización de los objetos de aprendizaje y su metadatos, y por otra, facilitar la consulta y localización de los mismos con vistas a promover su reutilización. La búsqueda y localización se realiza gracias a los metadatos que los describen.

En consecuencia, y en relación a los objetivos de preservación, disseminación y organización, un repositorio debería ofrecer, por ejemplo, servicios para añadir, eliminar y describir los objetos de aprendizaje. Con respecto a los objetivos de consulta y localización, un repositorio debe disponer de servicios para buscar (de acuerdo a diferentes criterios), mostrar, navegar y descargar los objetos de aprendizaje. Dependiendo de las necesidades específicas de la comunidad de uso, los repositorios también pueden ofrecer servicios adicionales como serían, por ejemplo, la posibilidad de añadir comentarios y valoraciones sobre los objetos de aprendizaje o la posibilidad de recibir información periódica (por ejemplo, a través de subscripciones). Los requisitos de los usuarios son un aspecto fundamental a considerar en el diseño del repositorio dado que, uno de los factores que determina el éxito en la utilización de un repositorio, es que éste se origine a partir de las necesidades reales de la comunidad de uso (McNaught 2006).

Existen diferentes tipos de repositorios en función de los criterios de clasificación que se apliquen. Algunas de las clasificaciones –parcialmente basadas en Lehman (2007) y Hatala et al. (2004)– que se podrían realizar, no necesariamente excluyentes entre sí, serían las que se describen a continuación:

1. Atendiendo a los elementos que almacena el repositorio, es posible distinguir entre repositorios que almacenan tanto los objetos de aprendizaje como los metadatos que los describen, y los que únicamente almacenan los metadatos que describen los objetos de aprendizaje. El primer tipo de repositorios, de acuerdo a diversos

¹⁶GEM: <http://www.thegateway.org/>

¹⁷EdNA: <http://www.edna.edu.au/edna/go>

autores –por ejemplo, R. Heery (2005)– son los únicos que realmente deberían recibir la denominación de repositorios de objetos de aprendizaje. Por su parte, los del segundo tipo actúan como índices a los objetos de aprendizaje, almacenando, además de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje, la información sobre dónde éstos están físicamente guardados. Estos repositorios se conocen bajo denominaciones como *referatories* o *gateways repositories*.

2. Atendiendo al contenido asociado a los objetos de aprendizaje, es posible distinguir entre repositorios de propósito general (que contienen o indexan objetos de aprendizaje de diferentes disciplinas y/o de diferentes niveles educativos) y los temáticos (en este caso, los objetos de aprendizaje pertenecen a una disciplina concreta, de uno o diversos niveles educativos).
3. En función de los derechos sobre la propiedad intelectual y de las condiciones de uso de los objetos de aprendizaje (por ejemplo, si son de acceso restringido, si tienen asociado coste etc.). En este caso sería posible distinguir entre diferentes tipos de repositorios, en un extremo habrían los que ofrecen contenido en abierto y que responderían a iniciativas como OER Commons o OpenCourseWare (previamente descritas en la subsección 2.2.2), mientras que en el extremo opuesto estarían repositorios comerciales.
4. En función del modelo de desarrollo elegido, se puede distinguir entre repositorios centralizados y repositorios distribuidos. Entre los elementos susceptibles de ser distribuidos (o centralizados, depende del punto de vista que se considere) se encuentran tanto el almacenamiento de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje, como el de los propios objetos de aprendizaje. Los repositorios centralizados, en general, dan servicio a usuarios que pertenecen a una misma comunidad y son creados por instituciones académicas (como sería el caso de universidades), organismos gubernamentales, empresas u otros grupos de interés. Por ello, en ocasiones, también se les denominan repositorios institucionales. Por su parte, entre los repositorios descentralizados, por ejemplo, estarían aquéllos que funcionan sobre una base *peer-to-peer*. Esta alternativa es válida para usuarios que no tengan uno centralizado a su disposición. Asimismo también puede ser la opción preferida para aquellos usuarios que no quieren perder el control sobre sus recursos o no acepten las limitaciones que en ocasiones puede imponer un modelo de desarrollo centralizado. Otro tipo posible de repositorio distribuido

sería la federación de repositorios. En este caso, una serie de repositorios que funcionan de manera autónoma adicionalmente deciden compartir, pudiendo imponer ciertas restricciones en el acceso y uso, los recursos que almacenan con el resto de repositorios que conforman la federación.

En la actualidad existe un número muy elevado de repositorios, por lo que resulta imposible realizar un análisis exhaustivo de los mismos. Por ello, a continuación se presenta una selección de repositorios. La selección realizada, aparte de considerar el impacto de los mismos en publicaciones científicas, también pretende ilustrar las clasificaciones previamente presentadas. La selección no considera repositorios comerciales (ejemplos de tales repositorios podrían ser XanEdu¹⁸ o goENC¹⁹) dado que no son de interés para este trabajo de tesis. Los repositorios analizados son los siguientes:

- MERLOT²⁰ (Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching). Se trata de un repositorio de propósito general centralizado que ofrece acceso abierto y gratuito a recursos de educación superior. MERLOT contiene únicamente los metadatos (basados en LOM) que describen los objetos de aprendizaje y sus correspondientes enlaces hacia su localización externa.
- ARIADNE²¹ Knowledge Pool System (KPS). Constituye un repositorio de propósito general que ofrece recursos de aprendizaje de diferentes niveles educativos disponibles en los diferentes idiomas de la Unión Europea. ARIADNE KPS sigue un modelo de desarrollo distribuido tanto los objetos de aprendizaje como para los metadatos que los describen, construido sobre la base de la federación de repositorios. Para la descripción de los objetos de aprendizaje usa LOM. Define diferentes niveles de acceso para los usuarios y aplica diferentes políticas sobre la propiedad intelectual.
- DLESE²² (The Digital Library for Earth System Education). Se trata de un ejemplo de repositorio temático centralizado que ofrece acceso a recursos digitales, de diferentes niveles educativos, relativos a ciencias de la tierra. De manera similar a MERLOT únicamente almacena los metadatos que describen los objetos de aprendizaje, así como los enlaces dónde éstos están almacenados. Los recursos

¹⁸XanEdu: <http://www.xanedu.com/>

¹⁹goENC: <http://www.goenc.com/>

²⁰MERLOT: <http://www.merlot.org/>

²¹ARIADNE KPS: <http://www.ariadne-eu.org/>

²²DLESE: <http://www.dlese.org>

pueden ser libremente alterados, mejorados o copiados, siempre que no se haga con fines comerciales. Los metadatos que describen los recursos educativos pertenecen a un esquema propio.

- Organic.Edunet²³. Constituye un repositorio temático dedicado a agricultura ecológica y agroecología. Sigue un modelo de desarrollo distribuido construido sobre la base de una federación de repositorios. Para la descripción de recursos utiliza un perfil de aplicación basado en LOM. Sus contenidos (disponibles en varios idiomas) se orientan sobre todo a estudios universitarios. Uno de los elementos más relevantes es los diferentes tipos de búsqueda que permite realizar. Además de búsquedas basadas en cadenas de caracteres (usando como criterios el idioma, tipo de recurso y nivel educativo), también permite búsquedas semánticas (gracias al uso de una ontología de materias) y búsquedas basadas en nubes de conceptos (*cloud tags*).
- EdNA²⁴ (Education Network Australia Online). Es un repositorio de propósito general centralizado parcialmente financiado por el gobierno australiano a través del departamento de educación. EdNA únicamente almacena los metadatos (mediante Dublin Core) que describen los objetos de aprendizaje y los enlaces dónde los objetos de aprendizaje están físicamente almacenados. Aplica diferentes políticas sobre el uso permitido de los recursos almacenados. En la actualidad se está planteando una migración a un modelo distribuido para los metadatos que almacena.
- MIT OCW²⁵ (MIT OpenCourseWare). Se trata de un repositorio centralizado que almacena tanto los objetos de aprendizaje como los metadatos (basados en LOM) que los describen. Se trata de un repositorio de propósito general que ofrece acceso libre y gratuito (bajo licencia Creative Commons) a recursos de educación superior pertenecientes a los diferentes departamentos que integran el MIT.

Para acabar, comentar que existen diversas organizaciones que mantienen información detallada sobre diferentes repositorios. Entre ellas, se destacan la AADLC²⁶ (esta entidad está relacionada con la ADL) o la Universidad de Wisconsin²⁷. De manera simi-

²³Organic.Edunet: <http://portal.organic-edunet.eu/index.php>

²⁴EdNA: <http://www.edna.edu.au/>

²⁵MIT OCW: <http://ocw.mit.edu/index.html>

²⁶Academic ADL Co-Lab: http://projects.aadlcolab.org/repository-directory/repository_listing.asp/

²⁷UWMilwaukee: http://www4.uwm.edu/cie/learning_objects.cfm?gid=37

lar, en la literatura existen múltiples artículos que realizan revisiones sobre repositorios –por ejemplo, R. Heery (2005), Barnes et al. (2007) y Lehman (2007)–.

2.3. El estándar LOM para objetos de aprendizaje

Como ya se ha explicado con anterioridad, uno de los aspectos cruciales en el proceso de estandarización del área del *e-learning* es el desarrollo de esquemas de metadatos que permitan describir las propiedades de los objetos de aprendizaje, con el objetivo de permitir que éstos sean gestionados, localizados en repositorios, evaluados, intercambiados entre LMS para que puedan ser reutilizados por profesores y estudiantes en diversas experiencias educativas.

El estándar IEEE 1484.12.1-2002 *Standard for Information Technology –Education and Training Systems– Learning Objects and Metadata*, más conocido simplemente como estándar LOM (2002), incluye un modelo de datos que define el conjunto de metadatos que describen un objeto de aprendizaje, esto es, el contenido normativo del estándar. El conjunto de metadatos que propone el estándar LOM se estructura de manera jerárquica. Adicionalmente, cada metadato pertenece a una de las nueve siguientes categorías:

1. La categoría *General*²⁸ (General) agrupa toda aquella información de carácter general que describe un objeto de aprendizaje de manera global. Como ejemplos de metadatos pertenecientes a esta categoría se pueden citar el título (metadato 1.2 *Title*²⁹) del objeto de aprendizaje o las palabras clave (metadato 1.5 *Keyword*) que caracterizan el objeto de aprendizaje.
2. La categoría *Life cycle* (Ciclo de vida) agrupa aquellas características relacionadas con la historia y estado actual de un objeto de aprendizaje. A modo de ejemplo, incluye metadatos para representar quién ha contribuido (metadato 2.3 *Contribute*) al estado del objeto de aprendizaje.
3. La categoría *Meta-Metadata* (Meta-Metadatos) agrupa información sobre la propia instancia de metadatos, en lugar del objeto de aprendizaje descrito.

²⁸En principio, a lo largo de este trabajo de tesis se prefiere la denominación en inglés de los elementos definidos en el estándar LOM, en lugar de su correspondiente traducción a lengua española.

²⁹El esquema numerado para los metadatos indica categoría y número de metadato dentro de la categoría. En el caso del ejemplo mostrado se trata del segundo metadato definido por LOM dentro de la primera categoría. Esta categoría es la categoría *General*.

4. La categoría *Technical* (Técnica) agrupa las características técnicas de un objeto de aprendizaje como podrían ser, por ejemplo, el formato (metadato 4.1 *Format*) en que está codificado el objeto de aprendizaje o su tamaño (metadato 4.2 *Size*).
5. La categoría *Educational* (Uso Educativo) agrupa las características pedagógicas y educativas de un objeto de aprendizaje. Ejemplos de metadatos pertenecientes a esta categoría podrían ser el tipo de recurso de aprendizaje (metadato 5.2 *Learning resource type*) o su dificultad (metadato 5.8 *Difficulty*).
6. La categoría *Rights* (Derechos) agrupa información relacionada con derechos de la propiedad intelectual y las condiciones de uso de un objeto de aprendizaje.
7. La categoría *Relation* (Relación) agrupa las características que definen las interrelaciones entre el objeto de aprendizaje que está siendo descrito y otros posibles objetos de aprendizaje relacionados. Por ejemplo, mediante los metadatos de esta categoría sería posible definir que un objeto de aprendizaje está basado en otro objeto de aprendizaje.
8. La categoría *Annotation* (Anotación) permite añadir comentarios sobre el uso educativo de los objetos de aprendizaje, e información sobre cuándo y quién ha creado estos comentarios.
9. La categoría *Classification* (Clasificación) permite describir un objeto de aprendizaje en relación a un sistema de clasificación concreto. Mediante los metadatos de esta categoría es posible clasificar cada objeto de aprendizaje de acuerdo a diversos propósitos (que quedan recogidos en el metadato 9.1 *Purpose*) como podría ser, por ejemplo, la disciplina o nivel educativo.

Dentro de la estructura jerárquica del conjunto de metadatos existen metadatos agregados y metadatos simples. Éstos últimos constituyen las hojas de la jerarquía. Únicamente los metadatos simples tienen valores asociados, gracias a la definición de un espacio de valores, generalmente organizado en forma de vocabularios, y un tipo de datos. Algunos metadatos pueden ser multivaluados, es decir, un registro de metadatos que describe un objeto de aprendizaje, puede incluir múltiples instancias para un mismo metadato. De manera similar, existen categorías de metadatos que pueden ser multivaluadas, mientras que otras son monovaluadas.

Un ejemplo de metadato agregado sería el metadato 2.3 *Contribute* de la categoría 2. *Life Cycle*. Este metadato es una tripleta que permite especificar el rol de la contribución (metadato 2.3.1 *Role*), los datos de la persona y/u organización asociada a la contribución (metadato 2.3.2 *Entity*) y la fecha (metadato 2.3.3 *Date*) de la contribución. Por su parte, metadatos como los anteriormente citados 1.2 *Title* (de la categoría 1. *General*) o metadatos como 4.1 *Format* y 4.2 *Size* (ambos de la categoría 4. *Technical*) son ejemplos de metadatos simples. Todos estos últimos metadatos, a su vez, también son ejemplos de metadatos monovaluados. Como ejemplos de metadatos multivaluados, se pueden nombrar el metadato 1.5 *Keyword* de la categoría 1. *General* o el anteriormente mencionado 2.3 *Contribute*.

Entre los metadatos que tienen un vocabulario asociado, se puede citar el metadato 9.1 *Purpose* de la categoría 9. *Classification* (este metadato, de acuerdo a LOM, toma valor dentro del conjunto {*discipline, idea, prerequisite, educational objective, accessibility restrictions, educational level, skill level, security level, competency*}). Finalmente, como ejemplo de categorías monovaluadas se pueden nombrar las categorías 1. *General* o 4. *Technical*, mientras que las categorías 7. *Relation* o 9. *Classification* constituyen ejemplos de categorías multivaluadas.

Todos los metadatos propuestos por LOM son opcionales. Es decir, las aplicaciones que creen registros de metadatos para la descripción de objetos de aprendizaje pueden seleccionar el conjunto de metadatos más apropiado a sus necesidades, e incluso pueden añadir nuevos metadatos no contemplados en LOM. Lo esencial es garantizar que el conjunto final de metadatos elegido sea conforme a LOM, a efectos de garantizar la interoperabilidad de los objetos de aprendizaje. Un registro de metadatos es conforme al estándar LOM si cumple alguna de las siguientes condiciones:

- Sólo contempla metadatos de LOM. En este caso se habla de conformidad estricta.
- Contempla nuevos metadatos, esto es, extiende el estándar LOM; estos nuevos metadatos no reemplazan metadatos ya existentes en LOM. En este caso se habla simplemente de conformidad.

Adicionalmente al modelo de datos que se acaba de describir, el estándar LOM incluye la definición de correspondencias que especifican cómo el modelo de datos queda expresado en un lenguaje determinado, en concreto en XML (LOM-XML 2003).

Finalmente, también proporciona la especificación de una interfaz de programación de aplicaciones (API) que incluye la definición de servicios, la cual proporciona las bases para permitir la cooperación entre diferentes LMS. Por todo ello, el estándar LOM se define como un estándar multi-parte –*multipart standard* (Friesen 2005)–.

A partir de la descripción realizada es posible concluir que en el desarrollo del estándar LOM se han aplicado una serie de principios de diseño que, de hecho, serían aplicables al diseño de cualquier esquema de metadatos, con independencia de su entorno de aplicación. Estos principios de acuerdo a Duval et al. (2002) son:

- Modularidad, esto es, los metadatos, los vocabularios usados, así como los bloques de construcción pueden ser combinados según las necesidades, permitiendo la interoperabilidad tanto desde un punto de vista sintáctico como semántico.
- Extensibilidad, es decir, el esquema de metadatos debe permitir extensiones para captar nuevas necesidades de un entorno de aplicación determinado.
- Refinamiento, esto es, cada dominio de aplicación puede utilizar el esquema de metadatos a diferentes niveles de detalle, de acuerdo a sus necesidades.
- Multilingüismo, esto es, el esquema de metadatos debe respetar la diversidad cultural y lingüística de los posibles entornos de aplicación.

Asimismo, Duval et al. (2002) también sugiere una serie de principios prácticos que se deberían tener en cuenta en la aplicación de un esquema de metadatos en un entorno de aplicación concreto. A efectos de este trabajo de tesis, es importante destacar dos de estos principios prácticos:

- Perfiles de aplicación (*application profiles*). Se definen como un ensamblaje de elementos de metadatos seleccionados de uno o más esquemas de metadatos, que se combinan en un esquema compuesto. Su objetivo es adaptarse a los requisitos funcionales de una aplicación concreta, a la vez que garantizan la interoperabilidad con los esquemas base de metadatos utilizados. Son el mecanismo utilizado para garantizar los principios de modularidad y extensibilidad.
- Sintaxis y semántica. Mientras que la sintaxis trata acerca de la forma, la semántica trata sobre el significado; es importante mantener una separación entre ambos

niveles, y es necesario también alcanzar acuerdos sobre ambos niveles para habilitar la posibilidad de compartir metadatos. En consecuencia, es importante mantener una separación entre la representación sintáctica de los metadatos (esto es, el lenguaje usado en su representación), y su significado (o semántica).

En relación a los perfiles de aplicación, cabe destacar que existen organizaciones, como por ejemplo CanCore (Friesen et al. 2002), cuyo uno de sus objetivos principales es el desarrollo de perfiles de aplicación de metadatos, así como la elaboración de recomendaciones sobre simplificaciones e interpretaciones del estándar LOM.

Asimismo, el IMS Global Consortium y SCORM, proponen sus propios perfiles de aplicación, indicando qué metadatos de LOM se contemplan, así como las restricciones impuestas sobre ellos. Básicamente, estas restricciones tienen que ver con la obligatoriedad o no de la definición de ciertos metadatos, así como la multiplicidad permitida. En Anido et al. (2002) se puede encontrar una descripción esquemática que relaciona, entre otros, los perfiles de aplicación de las iniciativas previas con LOM.

Para finalizar, con respecto a la sintaxis y semántica de los metadatos, destacar que existen diversos lenguajes (por ejemplo, el ya mencionado XML) para la especificación de metadatos, que tienen diferentes grados de formalización y rigor. La elección realizada condicionará la utilidad de la tecnología desarrollada, que podrá ser más o menos precisa y automatizada (Sánchez-Alonso & Sicilia 2005). En buena parte de las propuestas actuales, la interpretación del significado de los metadatos de los objetos de aprendizaje recae en personas (Friesen 2004b), más que en la tecnología. Precisamente, la integración de metadatos educativos en estructuras ontológicas, que constituye el núcleo central de este trabajo, pretende aportar soluciones que ayuden a potenciar la interoperabilidad semántica de los objetos de aprendizaje, asistida a través del desarrollo de tecnología especializada.

2.4. Ontologías

En esta sección presenta los conceptos fundamentales asociados a las ontologías. Más concretamente, se presenta qué es una ontología, su estructura, así como diversas clasificaciones de las ontologías. Para acabar se establece la relación existente entre ontologías y la Web semántica. Esta relación será el nexo de enlace que justifica el

interés en el uso de ontologías dentro del ámbito del *e-learning*, el cual será el foco de interés en la última parte de este capítulo dedicado al Estado de la cuestión.

2.4.1. El concepto de ontología

Existen diversas definiciones de lo que es una ontología, dependiendo de la disciplina bajo consideración. El origen del término está en la filosofía, quedando definido en el diccionario de la Real Academia Española como la *parte de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades trascendentales*³⁰.

También existe un interés en el desarrollo y uso de ontologías en otras disciplinas, como sería en caso de la ciencia informática. En la ciencia informática, las ontologías se usan para diversos propósitos (procesamiento de lenguaje natural, representación y adquisición de conocimiento, compartición e integración de información, construcción de bases de conocimiento etc.) y en diferentes campos (como serían, por ejemplo, el de inteligencia artificial, la Web semántica, o el de la modelización conceptual de sistemas de información). Por todo ello, dependiendo de la comunidad de uso, existen diferentes definiciones del término, algunas de las cuales se revisan a continuación, tomando como criterios su relevancia y su orden de aparición en la literatura.

Entre las definiciones más citadas está la de Gruber (1993), que define una ontología de la siguiente manera:

Especificación explícita de una conceptualización

La definición previa ha sido objeto de críticas y de revisión, por ser excesivamente genérica (y en consecuencia, sujeta a diferentes interpretaciones) y por la definición del término conceptualización que subyace en la definición de Gruber. Dicha noción de conceptualización, se basa en la realizada por Genesereth & Nilson (1987). De acuerdo a estos autores, una conceptualización es un conjunto de relaciones expresadas de manera extensional, que definen el estado particular de un dominio dado. Esta definición contradice la visión más comúnmente aceptada del término conceptualización, que es de naturaleza intensional, puesto que una conceptualización describe cualquier estado válido de un dominio dado y no uno en particular. Esto causa, de acuerdo a Guarino & Giarretta (1995), que existan múltiples interpretaciones del término ontología, que

³⁰Real Academia Española. <http://www.rae.es/rae.html>

ilustran en el caso particular del campo de la inteligencia artificial. Por todo ello, Guarino & Giaretta definen conceptualización como la estructura semántica intensional que codifica las reglas implícitas que restringen la estructura de una porción de la realidad y proponen, con el objetivo de reconciliar las diferentes interpretaciones en el campo de la inteligencia artificial, una definición del término ontología con dos acepciones, tal y como se presenta a continuación:

Acepción 1: Una teoría lógica que proporciona una descripción parcial y explícita de una conceptualización.

Acepción 2: Ontología como sinónimo de conceptualización

La primera acepción recogería conocimiento extensional sobre individuos, mientras que la segunda acepción recogería conocimiento terminológico o intensional. El uso de ambas acepciones permite ver claramente que dos ontologías (de acuerdo a la acepción 1) pueden ser diferentes, aunque representen a una misma conceptualización (de acuerdo a la acepción 2), porque pueden representar estados (o mundos) diferentes de la porción de la realidad que se pretende conceptualizar. De manera similar, una ontología (de acuerdo a la acepción 2) puede ser derivada a partir de sus diferentes descripciones parciales y explícitas (acepción 1).

Además de Guarino & Giaretta, otros autores han intentado clarificar la definición de Gruber. Por ejemplo, Borst (1997) propone la siguiente definición:

Especificación formal de una conceptualización compartida

A su vez, las definiciones de Borst y Gruber se mezclan y se explican en Studer et al. (1998) tal y como sigue:

Una ontología es una especificación formal explícita de una conceptualización compartida. La “conceptualización” se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno del mundo del cual se identifican los conceptos relevantes. “Explícito” significa que los conceptos identificados y las restricciones de su uso se definen de manera explícita. “Formal” implica el hecho de que la ontología debería poder ser leída por máquinas. Finalmente, “compartida” refleja la noción de que una ontología captura conocimiento que no es exclusivo de un individuo, sino de un grupo de individuos o comunidad.

Ambas definiciones también reducen la ambigüedad presente en la definición de Gruber, y resultan más comprensibles para más comunidades de uso que la definición propuesta por Guarino & Giaretta. En primer lugar excluyen el uso de lenguajes no formales en la representación de ontologías, como sería el caso del lenguaje natural. El uso de lenguajes formales reduce los problemas de ambigüedad, dado que éstos tienen una semántica explícitamente definida. En segundo lugar, resaltan una característica fundamental de las ontologías, y es que debe existir un consenso (o acuerdo ontológico) sobre la conceptualización (entendida ésta de manera intensional) que está siendo especificada. La inclusión del consenso como característica fundamental se sustenta en el hecho que la posibilidad de reutilizar una ontología será casi nula cuando la conceptualización que la ontología representa no está generalmente aceptada, por lo que se verán comprometidos algunos de los beneficios que se esperan conseguir de su uso, como sería el caso, por ejemplo, de la capacidad de compartir información.

También es importante destacar que existen otros autores que han intentado redefinir el término ontología para crear una definición más concisa. Este es el caso, por ejemplo, de la definición dada por Noy & McGuinness (2001), que está entre las más usadas en las guías de definición de ontologías:

Una ontología define un vocabulario común para investigadores que necesitan información de un dominio. Incluye definiciones interpretables por una máquina de conceptos básicos del dominio, y de las relaciones que entre ellos se establecen.

La desventaja principal de definiciones tan concretas como la anterior, es que tienden a ser confinadas a un determinado campo de la ciencia informática, perdiéndose generalidad. Por ejemplo, y sin querer entrar en controversias entre diferentes campos de conocimiento, la definición previa excluye conceptualizaciones desarrolladas en el campo de la modelización conceptual de sistemas de información (Olivé 2007). Por ejemplo, una ontología desarrollada para dar soporte al diseñador en la especificación de un sistema de información no necesita ser interpretable por una máquina. En cambio, tal ontología podría encajar con el resto de definiciones que se han dado en esta sección del término ontología.

También existen definiciones que enfatizan los objetivos, contenidos y estructura de las ontologías. No es objetivo de esta sección realizar una revisión exhaustiva de

todas las definiciones que existen en la literatura acerca del término ontología, sino una revisión de las más relevantes. En cualquier caso, en Gómez-Pérez et al. (2004) se muestra una discusión completa de todas estas definiciones.

Para finalizar esta sección, destacar que si bien existen múltiples definiciones de qué es una ontología, todas ellas convergen hacia unas mismas ideas: las ontologías recogen conocimiento relevante y consensuado sobre un dominio de interés, y este conocimiento puede ser representado (como mínimo a nivel intensional) y compartido por diferentes agentes (ya sean personas o programas).

2.4.2. Estructura de una ontología

En esta subsección, y en base a las definiciones previamente presentadas, se analizan los elementos que pueden conformar una ontología. Estos elementos son los que se describen a continuación:

1. Clases que sirven para abstraer individuos (u objetos o instancias) que comparten propiedades (o atributos) comunes. Las clases tienen intensión y extensión. La intensión define la semántica (o el significado) de la clase y está representada por el conjunto de propiedades comunes, en contraposición a la extensión que recoge el conjunto de individuos que conforman la clase (Olivé 2007).
2. Relaciones que interrelacionan individuos y clases. En ocasiones, dependiendo del lenguaje usado para la definición de la ontología, también se utilizan para representar las propiedades de las clases. Hay diferentes tipos de relaciones:
 - Relaciones no taxonómicas. Son relaciones n-arias (por lo general, binarias y ternarias) que sirven para expresar interrelaciones entre individuos de la misma clase (y este caso se trata de relaciones reflexivas o recursivas (Olivé 2007)) o de clases diferentes. En ocasiones, se distingue un tipo especial de relación, las funciones, las cuales se ajustan al significado de función matemática. Las relaciones pueden tener propiedades (por ejemplo, transitividad, asimetría, o el hecho que una relación es inversa de otra).
 - Relaciones taxonómicas. Son relaciones binarias que se establecen entre clases, o entre relaciones no taxonómicas. En el caso de las clases, permiten estructurar las clases en jerarquías (o grafos, dependiendo de si el lenguaje

usado para la representación de la ontología acepta herencia múltiple) de generalización/especialización. Las relaciones taxonómicas entre clases permiten especificar que una clase (hija) es subtipo de otra clase (padre). En consecuencia, estas relaciones establecen una restricción de integridad de inclusión entre los individuos de las clases relacionadas, dado que definen que la extensión de la clase hija está incluida en la extensión de la clase padre. En el caso de taxonomías de relaciones no taxonómicas, la semántica es análoga a la anteriormente descrita.

- Relaciones de clasificación. Se trata de relaciones binarias que se establecen entre clases y individuos. Sirven para clasificar individuos en diferentes clases. Un mismo individuo puede ser instancia de diferentes clases. De manera obvia, esto es así en el caso de clases relacionadas por relaciones de generalización/especialización (un individuo que es instancia de una clase hija también es instancia de cualquiera de sus clases padre), pero también puede ser cierto en el caso de clases no directamente relacionadas entre sí a través de relaciones de generalización/especialización. En este último caso se habla de clasificación múltiple.

3. Aserciones (o axiomas o restricciones) que representan predicados que siempre son ciertos. Se utilizan para restringir los posibles estados válidos (representados éstos a partir de conjuntos de instancias) de la ontología, garantizando su consistencia. Es posible definir diferentes tipos de restricciones de integridad, sobre los elementos previamente presentados. Por ejemplo, en el caso de las propiedades de las clases es posible definir restricciones de integridad para expresar valores por defecto o sobre la cardinalidad (mínima y máxima) permitida. Este último tipo de restricción de integridad también sería aplicable en el caso de relaciones no taxonómicas. En el caso de relaciones taxonómicas, por ejemplo, es posible expresar que una o más clases son disjuntas o que un conjunto de clases hija particiona la clase padre. Para acabar, dependiendo del lenguaje usado para la representación de la ontología, también se pueden definir expresiones más complejas que sirven para inferir nuevo conocimiento. Estas expresiones se conocen también con el nombre de reglas de derivación.
4. Instancias u objetos que representan individuos. Mientras que los elementos previos dotan de estructura a la ontología, este último elemento permite poblar la

ontología. La combinación de instancias con los elementos previos también se conoce bajo la denominación de base de conocimiento (Noy & McGuinness 2001).

Para acabar, es necesario destacar que el número de elementos (y el nivel de detalle en su definición) que se pueden definir en una ontología depende del poder expresivo del lenguaje usado para la representación de la ontología. En Gómez-Pérez et al. (2004) se puede encontrar una revisión de diferentes lenguajes para la implementación de ontologías. Precisamente la revisión, como hilo conductor, considera los constructores que incorporan cada uno de los lenguajes analizados.

2.4.3. Clasificación de ontologías

Existen diversas propuestas de clasificación para las ontologías. En esta subsección se revisan algunas de las más referenciadas en la literatura. Estas clasificaciones son las propuestas por Guarino (1998), Lassila & McGuinness (2001) y Poli (2002). A continuación se describen de manera más detallada cada una de estas clasificaciones:

1. La clasificación propuesta por Guarino (1998) categoriza las ontologías de acuerdo al nivel de abstracción de su contenido. Esta clasificación distingue entre:
 - a) Ontologías de alto nivel (*top-level ontologies* o *upper-level ontologies*). Describen conceptos muy generales. El conocimiento representado es independiente de cualquier problema o dominio particular y, en consecuencia, pueden ser usadas en diferentes dominios. Como ejemplos de estas ontologías se podrían citar Cyc³¹, SUMO³² o DOLCE³³.
 - b) Ontologías de dominio y ontologías de tarea (*domain/task ontologies*). Las ontologías que pertenecen a este grupo describen el vocabulario genérico relativo a dominios o tareas. En consecuencia, estas ontologías pueden ser reutilizadas dentro del mismo dominio o tarea que representan. Además, su construcción se puede acometer a partir de ontologías de alto nivel. Por este motivo, alguna de las ontologías del grupo previo (si incorporan la definición de ontologías de dominio/tarea) también pueden ser consideradas dentro de este grupo (por ejemplo, este sería el caso de Cyc y SUMO).

³¹Cyc: <http://www.cyc.com/>

³²SUMO: <http://www.ontologyportal.org/>

³³DOLCE: <http://www.loa-cnr.it/DOLCE.html>

Otros ejemplos de ontologías que pertenecen a este grupo serían ontologías del ámbito de la lingüística como WordNet³⁴ y SENSUS³⁵ u ontologías del mundo de la medicina como UMLS³⁶. Como ejemplos de ontologías de tarea estarían BMO³⁷ (*Business Management Ontology*) y el esquema *Lifecycle integration of process plant data*³⁸ definido por ISO.

- c) Ontologías de aplicación (*application ontologies*). Describen los conceptos relevantes de un dominio o tarea específico. No pueden ser reutilizadas fuera del ámbito de aplicación que representan.
2. La clasificación de Lassila & McGuinness (2001) distingue entre diferentes tipos de ontologías de acuerdo a la expresividad del lenguaje usado para su representación. En este caso la clasificación distingue entre:
 - a) Ontologías ligeras (*lightweight ontologies*). Se caracterizan por su bajo nivel de formalización. Dentro de este grupo se incluyen (de más informales a menos informales) catálogos, glosarios y tesauros. Los elementos previos difícilmente son interpretables por un programa y, en consecuencia, buena parte de la comunidad científica no las considera ontologías.
 - b) Ontologías pesadas (*heavyweight ontologies*). En este grupo se incluyen ontologías que formalmente contemplan, al menos, relaciones taxonómicas. Esta formalización implica que el lenguaje usado en la representación de la ontología fuerza el cumplimiento de la restricción de inclusión que imponen las jerarquías de generalización/especialización. En los siguientes niveles de formalización se incluyen, sucesivamente, ontologías que incorporan relaciones de clasificación, las que incorporan la definición de relaciones no taxonómicas y, finalmente, aquellas ontologías que permiten especificar diferentes tipos de restricciones de integridad sobre los elementos susceptibles de ser definidos.
 3. La clasificación propuesta por Poli (2002) establece dos categorizaciones (ortogonales entre sí) tomando como criterios la expresividad de las ontologías y la generalidad del contenido expresado en las ontologías. La principal aportación

³⁴WordNet: <http://wordnet.princeton.edu/>

³⁵SENSUS: <http://www.isi.edu/natural-language/projects/ONTOLOGIES.html>

³⁶UMLS: <http://www.nlm.nih.gov/research/umls/licensedcontent/downloads.html>

³⁷BMO: http://www.bpiresearch.com/Resources/RE.OSSOnt/re_ossont.htm

³⁸ISO/FDIS 15926-2: http://www.tc184-sc4.org/wg3ndocs/wg3n1328/lifecycle_integration_schema.html

de esta clasificación es que armoniza las clasificaciones efectuadas por Guarino (1998) y Lassila & McGuinness (2001).

- a) De acuerdo a la expresividad de las ontologías. Esta clasificación es una generalización de la propuesta por Lassila & McGuinness (2001). Permite distinguir entre:
 - 1) Ontologías descriptivas (*descriptive ontologies*). Este grupo incluye ontologías que contienen información suficiente para las necesidades de una comunidad de interés.
 - 2) Ontologías formales (*formal ontologies*). Este grupo incluye ontologías que destilan y organizan el contenido de las ontologías contenidas en el grupo previo.
 - 3) Ontologías formalizadas (*formalized ontologies*). Incluye aquellas ontologías que de manera efectiva codifican las ontologías del grupo previo.
- b) De acuerdo al contenido representado en las ontologías. Esta clasificación constituye un caso particular de la de Guarino (1998). Distingue entre:
 - 1) Ontologías dependientes del dominio (*domain-dependent ontologies*). En este grupo se incluyen ontologías que recogen información relevante dentro de un dominio, tal y como indica su propia denominación.
 - 2) Ontologías independientes del dominio (*domain-independent ontologies*). Este grupo considera ontologías que incluyen suficiente información general susceptible de ser reutilizable en diferentes dominios. Por ello, también se suelen denominar ontologías de conocimiento general (*commonsense ontologies*).

2.4.4. Ontologías y Web semántica

Las ontologías, tal y como se ha puesto de manifiesto en la sección 2.4.1, recogen conocimiento relevante y consensuado sobre un dominio de interés que puede ser representado y compartido por diferentes agentes (personas y programas especializados). El interés sobre las ontologías se ha visto renovando gracias a la visión de la Web semántica (Berners-Lee et al. 2001). Las ontologías, en el contexto de la Web semántica, son el elemento esencial para expresar semántica, de manera que permiten realizar búsquedas más exactas (en consecuencia, búsquedas de más calidad) en la Web, a la

vez que habilitan la interoperabilidad entre sistemas. Esto será posible siempre y cuando la información disponible en las páginas Web esté relacionada con los conceptos representados en la ontología, de tal manera que se pueda utilizar dicho conocimiento e incluso inferir nuevo conocimiento, a partir del que está representado en la ontología.

En este sentido, es importante destacar iniciativas como *LinkedData*³⁹ (Bizer et al. 2009) que busca interconectar la información de la Web de una manera que sea comprensible para programas especializados. La forma de conseguirlo consiste en la definición de un conjunto de ontologías expresadas en RDF, donde cada ontología describe la estructura de la información contenida normalmente en un sitio Web, y además contiene información sobre el propio sitio Web en forma de instancias de la ontología. De esa forma, un programa especializado es capaz de interpretar la información de ese sitio Web a partir de la estructura de su ontología y obtener información sobre sus datos a partir de sus instancias. En cualquier caso, el interés de *LinkedData* no está sólo en sus ontologías, sino también en cómo éstas se interrelacionan entre sí. Las relaciones que se establecen entre las ontologías posibilitan que los programas naveguen de un concepto a otros conceptos relacionados, ya sea dentro de un mismo dominio o entre dominios diferentes, aunque relacionados. En el contexto de *LinkedData*, *DBPedia* es la ontología central que mantiene y relaciona todas las ontologías existentes.

Para la descripción de recursos Web basada en el uso de metadatos existe una familia de lenguajes que han sido auspiciados o constituyen recomendaciones del W3C⁴⁰ (el World Wide Web Consortium). Estos lenguajes se han desarrollado en diferentes etapas y sobre la base de los lenguajes anteriormente desarrollados, con el objetivo de garantizar la compatibilidad. Estos lenguajes, en función de los elementos que permiten definir, presentan diferentes niveles de expresividad semántica, de tal manera que, a partir de un cierto momento, se les puede considerar lenguajes válidos para la construcción de ontologías para la Web semántica. De manera sucinta –para una discusión más detallada véase, por ejemplo, Gómez-Pérez et al. (2004)– estos lenguajes son los que se presentan a continuación:

³⁹*LinkedData* – Connect Distributed Data across the Web: <http://linkeddata.org/>

⁴⁰W3C: <http://www.w3.org/>

1. XML y XML Schema⁴¹. Se trata de lenguajes para la descripción de la estructura de documentos Web. La descripción se queda en un nivel sintáctico y, por lo tanto, no se consideran lenguajes de ontologías.
2. RDF y RDF Schema⁴². El uso combinado de ambos lenguajes se conoce como RDF(S) y constituyen un primer paso para la descripción semántica de recursos Web. La información, en RDF, se representa mediante tripletas (sujeto, propiedad, objeto). Los sujetos son recursos. Los objetos pueden ser recursos o valores, y las propiedades describen relaciones entre sujetos y objetos. Mediante RDF(S) es posible, por ejemplo, definir clases que se pueden organizar en taxonomías, y también se pueden establecer relaciones no taxonómicas entre clases. Entre las limitaciones se pueden destacar, por ejemplo, que se no permiten especificar restricciones de integridad sobre los atributos (representados como propiedades) de las clases (como sería el caso de restricciones de cardinalidad) ni sobre las taxonomías de clases definidas (disjunción o completitud).
3. DAML+OIL⁴³. Construido sobre la base de RDF(S), también incorpora elementos de lógica de descripciones (Baader et al. 2004). Incrementa el poder expresivo de RDF(S) permitiendo, por ejemplo, que las propiedades (o relaciones de acuerdo a lo presentado en la subsección 2.4.2) se puedan organizar de manera taxonómica. También es posible expresar restricciones de integridad sobre las taxonomías (de clases o propiedades) definidas (disjunción o completitud) y sobre los atributos de las clases (por ejemplo, restricciones de cardinalidad mínima y máxima). Entre sus limitaciones se pueden citar que no resuelve ciertos conflictos ligados a la herencia múltiple.
4. OWL⁴⁴. Surge como una revisión, depuración y mejora del lenguaje DAML+OIL, más que con el objetivo de mejorar su capacidad expresiva. Entre algunos de los elementos adicionales que incorpora, por ejemplo, está la posibilidad de definir características adicionales sobre las relaciones (por ejemplo, es posible especificar que una relación cumple la propiedad de simetría) no contempladas en DAML+OIL. OWL se estructura en tres sublenguajes, que cumplen la propie-

⁴¹XML y XML Schema: <http://www.w3.org/XML/Schema>

⁴²RDF y RDF Schema: <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>

⁴³DAML+OIL: <http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>

⁴⁴OWL: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>

dad de inclusión. A continuación se describen estos sublenguajes. La descripción se realiza de mayor a menor capacidad expresiva:

- a) OWL Full. Permite el uso de todos los constructores del lenguaje. Dada su complejidad, no hay garantía computacional para las ontologías desarrolladas. Por lo tanto, las capacidades de razonamiento pueden estar limitadas.
- b) OWL DL. Subconjunto de OWL Full que garantiza completitud computacional (todas las conclusiones siempre son computables) y decibilidad (todos los cálculos siempre acaban en un tiempo finito). Para ello restringe el uso de ciertos constructores del lenguaje. Por ejemplo, si una relación entre instancias define la propiedad transitiva, dicha relación no puede estar sujeta a restricciones de cardinalidad.
- c) OWL Lite. Subconjunto de OWL DL. En concreto, restringe el uso de la mayoría de los constructores del lenguaje que tienen asociadas restricciones de cardinalidad (por ejemplo, la cardinalidad de los atributos de las clases queda restringida a 0 o 1, y tampoco permite herencia múltiple).

Para finalizar, las limitaciones principales de los lenguajes previamente examinados son dos. En primer lugar, no permiten definir relaciones de orden superior a 2 como sería el caso de relaciones ternarias. Para solventar esta limitación es necesario proceder a la reificación, es decir, es necesario transformar las relaciones en clases con el objetivo que puedan participar en nuevas relaciones (Olivé 2007). La segunda limitación es que tienen una capacidad limitada para la definición de axiomas de cierta complejidad como sería, por ejemplo, la definición de reglas de derivación. Esta limitación se resuelve con lenguajes especializados como sería el caso de TRIPLE⁴⁵ (para RDF(S) y DAML+OIL) y SWRL⁴⁶ (para OWL).

2.5. Uso de ontologías en *e-learning*

Los objetivos perseguidos por la Web semántica y el *e-learning* son, en esencia, idénticos. De hecho, el *e-learning* se puede considerar un dominio particular de aplicación de la Web semántica, centrado en el caso de entornos de enseñanza-aprendizaje, de ahí la utilización en ocasiones del término Web semántica educativa (Aroyo &

⁴⁵TRIPLE: <http://triple.semanticweb.org/>

⁴⁶SWRL: <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>

Dicheva 2004). Por todo esto, se puede observar un claro interés de la comunidad científica por indicar las directrices sobre el uso de ontologías el cual, a su vez, debe marcar la construcción y/o evolución de los diferentes sistemas de aprendizaje, de manera que los objetivos (entre otros, búsqueda, compartición, intercambio y personalización) planteados por las instituciones y organizaciones que han trabajado en el desarrollo de especificaciones y estándares de *e-learning* sean una realidad.

Este interés del uso de ontologías en el ámbito del *e-learning* se puede observar en diferentes números especiales de revistas, además de la celebración de diversos congresos de ámbito internacional y la publicación de diversos libros. Entre los primeros números especiales en revistas se pueden destacar, por ejemplo, el *Journal of Interactive Media in Education*, número especial 2004(1) sobre la Web semántica educativa⁴⁷, o el *Journal of Educational Technology & Society*, número especial 7(4) de 2004 sobre ontologías y la Web semántica para el *e-learning*⁴⁸, o el *British Journal of Educational Technology*, número especial 37(3) de 2006 sobre la Web semántica para el *e-learning*⁴⁹.

Un trabajo pionero en la clasificación de las ontologías de interés en el ámbito del *e-learning* es el propuesto por Stojanovic et al. (2001). También es posible encontrar propuestas similares en Mohan & Brooks (2003b) y Aroyo & Dicheva (2004), así como una discusión, realizada ésta desde un punto de vista más formal, en Lytras et al. (2003). Básicamente, las ontologías de interés en el ámbito del *e-learning* se pueden clasificar en tres grandes grupos, los cuales se enumeran a continuación:

1. Ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje. Entre estas ontologías se incluyen ontologías de dominio para describir el contenido asociado a los objetos de aprendizaje (por ejemplo, de acuerdo a una disciplina o las competencias promovidas), ontologías para describir la estructura de los objetos de aprendizaje y ontologías para describir los objetos de aprendizaje desde un punto de vista pedagógico (qué es el objeto de aprendizaje desde un punto de vista educativo y en qué forma se presenta el contenido asociado al objeto de aprendizaje). Estas ontologías, de acuerdo a Stojanovic et al. (2001) se denominan, respectivamente, ontologías de contenido, ontologías de estructura y ontologías de contexto y se relacionan con especificaciones y estándares como Dublin Core

⁴⁷<http://jime.open.ac.uk/jime/issue/view/31>

⁴⁸http://www.ifets.info/journals/7_4/ets_7_4.pdf

⁴⁹<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjet.2006.37.issue3/issuetoc>

o LOM. En el caso de LOM, dichas ontologías harían referencia, principalmente, a las categorías 9. *Classification*, 7. *Relation* y 5. *Educational*.

2. Ontologías de modelo de usuario que tienen como objetivo modelar características asociadas a los destinatarios (principalmente estudiantes) de los objetos de aprendizaje. Estas ontologías incluyen, entre otros, aspectos relacionados con los estilos de aprendizaje preferidos por los destinatarios de los objetos de aprendizaje, sus objetivos de aprendizaje o sus conocimientos previos. Estas ontologías estarían relacionadas con especificaciones como IEEE PAPI e IMS LIP.
3. Ontologías para modelar los procesos de enseñanza-aprendizaje. En este grupo se incluyen ontologías que describen la estructura y secuencia de las actividades de aprendizaje, los roles, las actividades, los servicios y los objetos de aprendizaje utilizados. Estas ontologías pueden ser usadas como base para la representación de teorías de diseño instruccional, y se relacionan con especificaciones como IMS LD o, en menor medida, con iniciativas como SCORM.

Las ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje tienen como objetivos mejorar los procesos de búsqueda de los objetos de aprendizaje disponibles en repositorios, ayudar a potenciar la reutilización de los objetos de aprendizaje y a garantizar la consistencia y la semi automatización del proceso de creación de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje, los cuales quedan recogidos en los registros de metadatos que se asocian a los objetos de aprendizaje. Asimismo, también posibilitan que los objetos de aprendizaje puedan ser interpretados e intercambiados mediante agentes software especializados entre las diferentes plataformas de *e-learning*.

En relación las ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje, es importante destacar que otros autores –por ejemplo, Sicilia & García-Barriocanal (2005) y Al-Khalifa & Davis (2006)– también proponen añadir ontologías para la representación explícita de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje. Dichas ontologías definen el significado de los metadatos, las relaciones que se establecen entre ellos, y también expresan las condiciones que garantizan su uso correcto. Estas ontologías potencian los beneficios previamente reseñados, y además pueden ayudar a validar y mejorar (a través de la propuesta de extensiones y la resolución de ambigüedades semánticas) los estándares y especificaciones de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. En definitiva, tales ontologías incluirían datos sobre los pro-

pios metadatos (meta-metadatos) tal y como se expone en Sicilia (2006), y son el foco de interés de este trabajo de tesis.

Adicionalmente, las ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje en conjunción con las ontologías de modelo de usuario ayudan a que la búsqueda de los objetos de aprendizaje en repositorios se ajuste a las necesidades reales de quienes van a usar los objetos de aprendizaje. Finalmente, la interacción de los tres tipos de ontologías (ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje, ontologías de modelo de usuario y ontologías para modelar los procesos de enseñanza-aprendizaje), facilitan la personalización del proceso de aprendizaje (Riecken 2000, Ashman et al. 2009) y el diseño de itinerarios formativos adaptativos (Quarati 2003).

2.6. Ontologías para la representación de objetos de aprendizaje

En esta sección se realiza una revisión de los trabajos más relevantes, a efectos de este trabajo de tesis, que realizan una representación de los objetos de aprendizaje basada en ontologías. Antes de proceder a la revisión, en la figura 2.1, se presentan de manera esquemática las diferentes alternativas propuestas en la literatura para la representación de los objetos de aprendizaje. La denominación y alternativas presentadas son una extensión de la propuesta realizada por Al-Khalifa & Davis (2006).

Una primera posibilidad consistiría en la inclusión de la información que describe el objeto de aprendizaje dentro del contenido asociado al propio objeto de aprendizaje, omitiendo la utilización de metadatos. A su vez, esta información podría estar relacionada con una o diversas ontologías. Esta alternativa se muestra en la parte inferior de la figura 2.1, y queda denominada como representación semántica no basada en metadatos. La descripción de los objetos de aprendizaje se podría realizar en base a los diferentes tipos de ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje presentadas en la sección 2.5. En el caso de esta alternativa de representación, el nivel de interoperabilidad es bajo, más allá de la institución que opte por una descripción de los objetos de aprendizaje de este tipo. Para solventar el problema previo, esta alternativa se podría combinar con las alternativas de representación mostradas en la parte superior de figura 2.1, las cuales se describen a continuación.

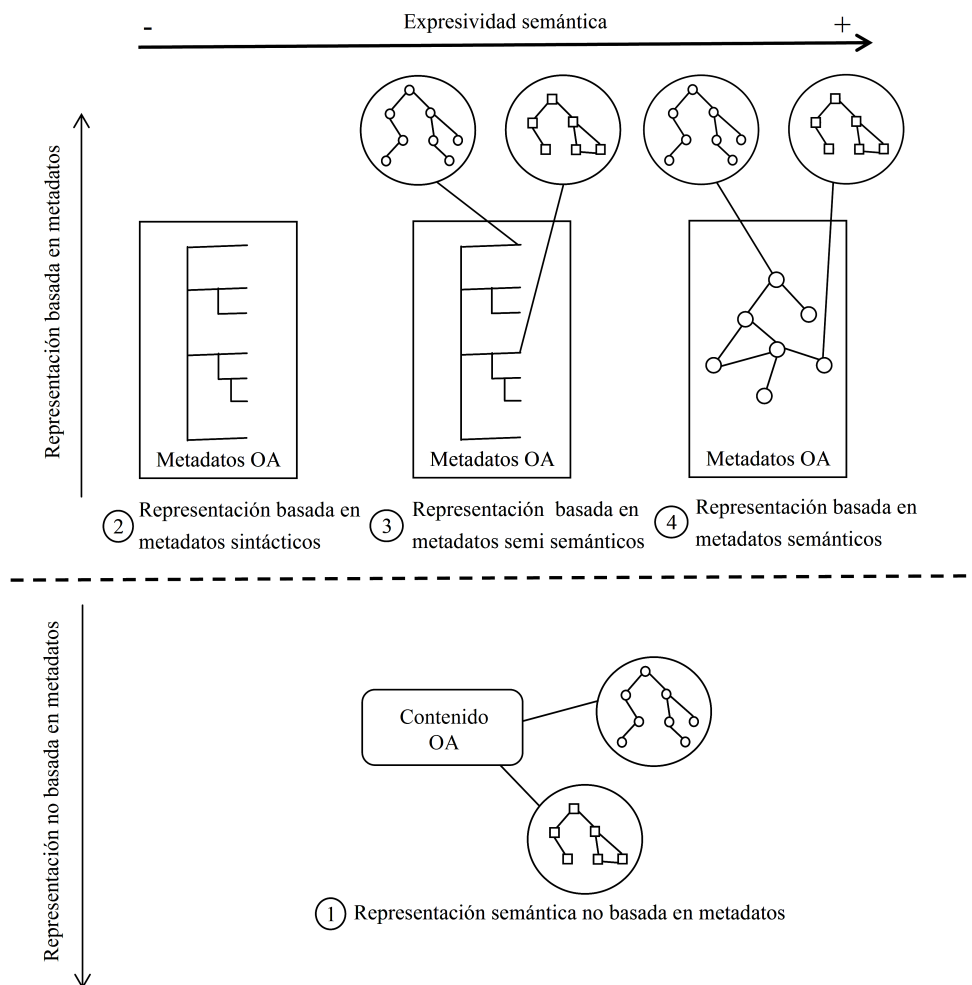


Figura 2.1: Alternativas para la representación de objetos de aprendizaje

En el caso de representaciones de los objetos de aprendizaje basadas en esquemas de metadatos, existen diversas alternativas de representación. La primera de estas alternativas (denotada en la figura 2.1 como representación basada en metadatos sintácticos) no utiliza ontologías. En general se trata de representaciones de los objetos de aprendizaje realizadas en XML. Asumiendo que el esquema de metadatos se basa en algún estándar o especificación, se garantiza la interoperabilidad, pero a un nivel básicamente sintáctico. En resumen, esta alternativa de representación está orientada a personas, y puede resultar apropiada, por ejemplo, para la catalogación de los objetos de aprendizaje y búsquedas basadas en cadenas de caracteres, pero carece de la expresividad semántica necesaria para su utilización por parte de agentes software especializados. En el caso que el esquema de metadatos sea LOM, el punto de partida es la traducción

a XML que el propio LOM ofrece de su modelo de datos (LOM-XML 2003). Si bien en la literatura existen múltiples propuestas en esta línea de trabajo como, por ejemplo, los esfuerzos en el diseño de los perfiles nacionales de LOM (en el caso de España, LOM-ES (2007)), es importante destacar que estas propuestas quedan fuera del ámbito de interés de este trabajo de tesis. En general, estos trabajos combinan propuestas de extensión de los vocabularios originalmente diseñados por LOM junto con la adición (en algunos casos) de nuevos metadatos.

La alternativa de representación basada en metadatos semi semánticos, tal y como muestra la figura 2.1, usa ontologías para definir el valor de algunos de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje. La idea básica consiste en relacionar el valor que pueden tomar los metadatos elegidos con conceptos pertenecientes a una ontología, en lugar de utilizar los vocabularios propuestos para esos metadatos por la especificación o estándar elegido como esquema de metadatos. Dado que los conceptos de la ontología están relacionados entre sí, se consigue mejorar la expresividad semántica de la representación obtenida con respecto a la alternativa de representación basada en metadatos sintácticos. Esta mejora puede ser utilizada por las aplicaciones que gestionan los objetos de aprendizaje. En el caso de esquemas de metadatos basados en LOM, los trabajos centrados en esta alternativa de solución, por lo general, actúan sobre metadatos pertenecientes a las categorías 9. *Classification* y 5. *Educational*, y en menor medida sobre metadatos pertenecientes a la categoría 7. *Relation*. Una selección de estos trabajos serán examinados en la subsección 2.6.1.

Finalmente, la alternativa denotada como representación basada en metadatos semánticos en la figura 2.1, además de utilizar ontologías para la representación de los valores de los metadatos, también representa mediante ontologías el propio modelo de datos del estándar o especificación elegido como esquema de representación de los objetos de aprendizaje. Esta alternativa, tal y como se ha argumentado en la sección 2.5, es la que desde un punto de vista semántico presenta un mayor poder expresivo de entre todas las presentadas, y es la elegida en este trabajo de tesis. Los trabajos más representativos que se decantan por esta alternativa de representación serán examinados en la subsección 2.6.2.

2.6.1. Representación basada en metadatos semi semánticos

En esta subsección se examina una selección (de entre la multitud de propuestas existentes) de trabajos que realizan un etiquetado semi semántico en la descripción de los objetos de aprendizaje. La selección toma como criterio su relación con aspectos problemáticos de LOM que se abordarán a lo largo de este trabajo de tesis o para ilustrar algunas de las alternativas para la representación de los objetos de aprendizaje mostradas en la figura 2.1.

Tal y como ya se ha comentado, en general, estos trabajos (véase la figura 2.1) relacionan el valor de ciertos metadatos con ontologías, en lugar de utilizar vocabularios, con los objetivos de garantizar una descripción consistente de los objetos de aprendizaje (dado que este proceso recae en personas, se minimizan las diferencias de interpretación respecto el uso de vocabularios), mejorar los procesos de búsqueda de los objetos de aprendizaje (a través del uso, por ejemplo, de las taxonomías definidas en la ontología) y, en consecuencia, incrementar la reutilización de los objetos de aprendizaje.

En Kabel et al. (2004) se presenta un estudio empírico que demuestra la mejora en calidad de los metadatos siguiendo un enfoque basado en el uso de ontologías como espacio de valores para metadatos de las categorías 5. *Educational* (en concreto el tipo de recurso de aprendizaje) y 9. *Classification* (para describir el contenido asociado a los objetos de aprendizaje) en el dominio de la programación.

En una línea de trabajo similar, Ullrich (2005) presenta una ontología que identifica diferentes tipos de objetos de aprendizajes organizados en una taxonomía de clases orientada al dominio de las matemáticas. Entre las clases también se establecen relaciones binarias no taxonómicas. A modo de ejemplo, mediante estas relaciones es posible especificar que un ejercicio (una de las clases contempladas en la ontología) sirve para ilustrar un concepto (otra de las clases de interés). La ontología propuesta por Ullrich es ampliada, en cuanto a las relaciones no taxonómicas contempladas y con el objetivo de facilitar el proceso de aprendizaje de los estudiantes, en el trabajo propuesto por Lu & Hsieh (2009). Las relaciones se organizan en una taxonomía que extiende el espacio de valores de los metadatos de SCORM (basados a su vez en los de LOM) que guardan las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje. Algunos ejemplos de las relaciones añadidas serían *explains* y sus relaciones subtipo *introduces*, *remarks* y

concludes. Entre las limitaciones de estos trabajos se encuentran la especificidad de las propuestas (dado que su utilidad se restringe a un dominio de aplicación concreto) y que pueden comprometer la interoperabilidad puesto que descartan por completo los tipos de recursos de aprendizaje propuestos por LOM.

Uno de los trabajos que utilizan ontologías para representar cómo el contenido de los objetos de aprendizaje queda clasificado de acuerdo a diversos propósitos es el realizado por Zarraonandía et al. (2004) y Doderó et al. (2005). Para efectuar estas clasificaciones se propone el uso de ontologías de dominio implementadas en RDF(S). Dichas descripciones quedan recogidas (en caso que LOM no proporcione metadatos explícitos más apropiados) en los metadatos de la categoría 9. *Classification*. La propuesta se enmarca dentro de una arquitectura orientada a facilitar el proceso de creación de los objetos de aprendizaje (desde cero o a partir de objetos de aprendizaje preexistentes) que da soporte a que los diferentes agentes implicados (autores, editores, expertos en la materia etc.) puedan trabajar de manera colaborativa. El uso de dichas ontologías no únicamente facilita la descripción de los objetos de aprendizaje, sino que también se utiliza para localizar posibles objetos de aprendizaje a partir de los cuales se puedan crear nuevos objetos de aprendizaje.

Otra línea de trabajo que también tiene entre sus objetivos facilitar el proceso de creación de los objetos de aprendizaje es la propuesta por Gasevic et al. (2007). En este caso se define un marco que permite la anotación del contenido de los objetos de aprendizaje a través del uso de diversas ontologías. En concreto, su propuesta incluye el uso de diferentes ontologías de dominio (para describir el contenido de los objetos de aprendizaje como podría ser, por ejemplo, de acuerdo a una disciplina), y una ontología de estructura (esta ontología tiene como objetivo capturar la estructura organizativa subyacente a los recursos de aprendizaje). Como ontologías de dominio los autores sugieren utilizar ontologías disponibles en bibliotecas (como sería el caso, por ejemplo, de Swoogle⁵⁰). Por otra parte, la ontología de estructura desarrollada está descrita en Jovanovic et al. (2005). La novedad que introduce la propuesta respecto a otros trabajos consiste en que, además de relacionar los valores de los metadatos con las ontologías de dominio, también se relaciona directamente el contenido asociado a los objetos de aprendizaje con los elementos contenidos en las ontologías de dominio y de estructura.

⁵⁰Swoogle: <http://swoogle.umbc.edu/>

En consecuencia, el marco de representación propuesto constituye un enfoque mixto (o si se prefiere de etiquetado doble) que combina las alternativas de representación 1 y 2 mostradas en la figura 2.1 (alternativa de representación semántica no basada en metadatos y alternativa de representación basada en metadatos semi semánticos, respectivamente). Este etiquetado doble permite trabajar con objetos de aprendizaje de diversa granularidad, a la vez que se facilita su reutilización total o parcial, mejorando la propuesta de Zarraonandía et al. (2004) y Dodero et al. (2005) que puede presentar dificultades en la reutilización parcial de los objetos de aprendizaje cuanto mayor sea su granularidad. A pesar de ello, el hecho de que parte de la descripción de los objetos de aprendizaje no se vuelque en los registros de metadatos, causa que su ámbito de visibilidad quede restringido a la institución que opta por una descripción de los objetos de aprendizaje de este tipo.

Para acabar, el último trabajo que se analiza en esta subsección trata sobre la descripción y búsqueda de objetos de aprendizaje que están disponibles en diferentes idiomas –Lemnitzer et al. (2007) y Monachesi et al. (2008)–. El trabajo se desarrolla dentro del marco del proyecto europeo *Language Technology for eLearning*⁵¹ (LT4eL). La propuesta se basa en la descripción de los objetos de aprendizaje (un tercio de los cuales son idénticos, es decir, presentan el mismo contenido pero en diferentes idiomas) mediante el uso de una ontología de dominio que tipifica (a través de los metadatos de la categoría 9. *Classification*) los objetos de aprendizaje de acuerdo a una disciplina (informática para usuarios no expertos). La ontología desarrollada (independiente del idioma) se construye sobre la base de una ontología propia (es decir, creada desde cero) que se integra con una ontología de alto nivel (en concreto DOLCE) a través de una ontología intermedia (esta ontología es OntoWordNet que es la versión de WordNet reestructurada de acuerdo a DOLCE). Para facilitar las búsquedas de los usuarios, el trabajo propone la creación de lexicones para cada uno de los idiomas para los cuales hay disponibles objetos de aprendizaje. Cada lexicón, a su vez, se enlaza con la ontología de dominio. Asimismo, la ontología (a través de los lexicones) puede ser usada por los usuarios para navegar a través de los objetos de aprendizaje. Como resultado, los usuarios (profesores y estudiantes) pueden buscar y recuperar objetos de aprendizaje, en su idioma nativo o en cualquiera del resto de idiomas contemplados de los cuales también tenga conocimiento. Uno de los problemas de la propuesta es que los

⁵¹LT4eL: <http://www.lt4el.eu/index.php?content=home>

objetos de aprendizaje que resultan de un proceso de traducción (un tercio del total) no están relacionados entre sí. Esto causa que los usuarios puedan recuperar objetos de aprendizaje que presentan el mismo contenido, pero expresado en idiomas diferentes, y no sean conscientes de este hecho hasta que acceden al contenido asociado a dichos objetos de aprendizaje.

2.6.2. Representación basada en metadatos semánticos

El objetivo de esta subsección es presentar los trabajos más relevantes que realizan una representación de los objetos de aprendizaje basada en metadatos semánticos. Tal y como se ya se ha indicado, ésta es también la alternativa de representación elegida en este trabajo de tesis. Antes de proceder a la presentación de estos estudios, destacar que su número es más bien reducido en comparación con la alternativa de representación basada en metadatos semi semánticos tratada en la subsección 2.6.1. Asimismo reseñar que en el capítulo 3 se procederá a un análisis más detallado de estos trabajos, que permitirá su comparación en base a diferentes criterios, permitiendo así también identificar sus principales limitaciones. Entre los objetivos de este trabajo de tesis se encuentran la propuesta de soluciones a algunas de dichas limitaciones.

Uno de los trabajos más interesantes es el realizado por Brase et al. –Brase et al. (2003), Brase & Painter (2004), Brase & Nejdl (2004) y Brase (2005)–. Su propuesta consiste en una ontología implementada en RDF(S) que considera un subconjunto de metadatos de LOM, en concreto aquéllos que coinciden con el núcleo básico de Dublin Core (en términos de esta especificación estos metadatos pertenecen al nivel *Simple* tal y como se ha presentado en la subsección 2.2.3). La ontología desarrollada incluye una serie de reglas (implementadas en TRIPLE) que permiten garantizar una descripción consistente de los objetos de aprendizaje y derivar de manera automática el valor de ciertos metadatos dependiendo, respectivamente, de si las reglas se codifican como restricciones de integridad o como reglas de derivación. En gran medida, estas reglas se basan en la explotación de la semántica de las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje. Como beneficio adicional de las reglas definidas, también tratan (de manera implícita) ciertas clases de objetos de aprendizaje, en concreto distinguen entre objetos de aprendizaje atómicos (o no descomponibles) y compuestos. Adicionalmente, también utilizan una ontología (implementada en RDF y basada en el

sistema de clasificación para computación desarrollado por la ACM⁵²) para la categorización del contenido asociado a los objetos de aprendizaje. Dicha ontología constituye el espacio de valores de los metadatos de la categoría 9. *Classification* de LOM cuando el criterio de clasificación es disciplina. Todos estos elementos están integrados en un editor de LOM denominado SHAME⁵³. Los beneficios de la descripción obtenida de su propuesta, a efectos de la búsqueda de objetos de aprendizaje, se ilustra en un repositorio distribuido de tipo *peer-to-peer* para el intercambio de recursos didácticos desarrollado en el marco del proyecto Edutella⁵⁴.

Una línea de trabajo similar se puede encontrar en la propuesta realizada por Doan, Bourda et al. (Bennacer et al. (2004), Doan & Bourda (2006) y Babu et al. (2007)). En este caso, los autores abogan por la necesidad de formalizar LOM con los objetivos, por un lado, de mejorar la búsqueda y reutilización de los objetos de aprendizaje, y por otro, de facilitar la extensión de LOM de acuerdo a las necesidades de una organización. Para conseguir los objetivos previos, los autores consideran crucial la identificación de las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje y sus descriptores (es decir, los metadatos), así como las relaciones (taxonómicas y no taxonómicas) existentes entre los objetos de aprendizaje. La ontología OWL que se deriva de su propuesta incluye el concepto de clase de objeto de aprendizaje. Esta clase se especializa en las clases de objetos de aprendizaje atómicos y compuestos. A su vez, estas clases se especializan (de acuerdo a criterios pedagógicos) en nuevas subclases que se ajustan a las necesidades de su organización, ilustrando así cómo un enfoque ontológico puede ser usado para realizar extensiones al esquema base propuesto por LOM. Los metadatos que describen los objetos de aprendizaje quedan recogidos mediante propiedades de la clase objeto de aprendizaje, y pueden tener asociadas restricciones de integridad (por ejemplo, restricciones de cardinalidad y restricciones de dominio y rango). También definen restricciones de integridad que ayudan a definir de manera formal el significado de las diferentes clases de objetos de aprendizaje (este sería el caso, por ejemplo, de la clase de objetos de aprendizaje compuestos). Para acabar, los autores proponen mecanismos (basados en el acceso al contenido del objeto de aprendizaje) para derivar de forma semiautomática el valor de ciertos metadatos.

⁵²ACM Computing Classification system (ACM CCS): <http://www.acm.org/about/class/1998/>

⁵³SHAME (Standardized Hyper Adaptable Metadata Editor): <http://kmr.nada.kth.se/shame/wiki/>

⁵⁴Edutella Project: <http://www.edutella.org/edutella.shtml>

La necesidad de axiomatizar LOM también se propugna en Ghebghoub et al. (2008 y 2010). Como beneficio añadido en relación a los previamente mencionados, los autores resaltan el hecho que, una definición formal de LOM basada en ontologías, ayuda a las personas responsables de cumplimentar los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. El trabajo, en su estado actual, incluye una ontología OWL de LOM (denominada LOMOnto⁵⁵) basada en el perfil nacional de Francia. De manera similar a Doan, Bourda et al., se define la clase objeto de aprendizaje. Dicha clase incluye los metadatos que pertenecen a las diferentes categorías (las contempladas por LOM) las cuales se organizan en una jerarquía de herencia. Entre las restricciones de integridad que se definen están las de obligatoriedad de ciertos metadatos, restricciones de dominio y rango, así como la definición de las propiedades asociadas a las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje (por ejemplo, el cumplimiento de la propiedad transitiva para ciertas relaciones y la definición de relaciones inversas). También disponen de una herramienta que, además de permitir la descripción de los objetos de aprendizaje de acuerdo a la ontología implementada, permite su búsqueda en la base de conocimiento. La propuesta está previsto que se complemente con el uso de ontologías de dominio (desarrolladas dentro del mismo grupo de investigación) que sirvan como espacio de valores en la definición de palabras clave.

Otro trabajo de especial interés es el realizado por Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja (2007) y Feroso-García et al. (2008). En Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja (2007) se presenta una ontología básica de LOM expresada en el lenguaje de ontologías WSML⁵⁶ (se trata de un lenguaje orientado al modelado de servicios Web), mientras que en Feroso-García et al. (2008) las correspondencias se realizan usando OWL (la ontología resultante se denomina LOM2OWL⁵⁷). Las correspondencias no son una mera traducción entre lenguajes (entre el modelo propuesto por LOM en XML y WSML o OWL, respectivamente) sino que también se mejora la expresividad semántica. Adicionalmente, las ontologías resultantes pueden servir como base para la construcción de representaciones ontológicas más ricas desde un punto de vista semántico. Entre los principios de diseño de la ontología, los autores mencionan que las correspondencias deben ser conformes a LOM, y en consecuencia deben respetar al máximo la terminología propuesta por el estándar, a la vez que deben estar orientadas a incrementar

⁵⁵LOMOnto: <http://www.hds.utc.fr/~mhabel/dokuwiki/doku.php?id=fr:pageonto>

⁵⁶WSML: <http://www.wsmo.org/wsml/>

⁵⁷LOM2OWL: <http://www.cc.uah.es/ie/ontologies.html>

la semántica con el objetivo que ésta pueda ser utilizada por programas especializados. La novedad que introducen respecto a los trabajos previamente analizados es que, en el caso de Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja (2007), en lugar de construir una ontología desde cero, se apoyan en ontologías ya existentes, en concreto OpenCyc⁵⁸ (la versión de código abierto de Cyc). Los principios de diseño antes reseñados tienen como objetivo garantizar la interoperabilidad a nivel sintáctico y mejorar la interoperabilidad a nivel semántico. La interoperabilidad semántica se ve incrementada, si cabe, en relación a los trabajos previamente presentados, por el hecho de partir de una ontología preexistente, consolidada y accesible a toda la comunidad. Distinguen dos tipos de correspondencias: básicas y semánticas. Las primeras simplemente constituyen un cambio en el lenguaje de representación, mientras que las segundas establecen las correspondencias pertinentes entre los conceptos de WSMML y OpenCyc. Adicionalmente, en Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja (2007) también se apunta como conectar el valor de ciertos metadatos, los que corresponden a la categoría 9. *Classification*, con ontologías de dominio, en concreto con una ontología de competencias como la presentada en Doderó et al. (2007). El potencial de la propuesta se muestra en el desarrollo de un repositorio de objetos de aprendizaje que almacena los metadatos que describen los objetos de aprendizaje –Sánchez-Alonso, Soto & Sicilia (2007) y Soto et al. (2007)–. Adicionalmente una adaptación de LOM2OWL también se utiliza para la representación del perfil de aplicación diseñado para la descripción de los objetos de aprendizaje disponibles en Organic.Edunet (este repositorio ha sido descrito en la subsección 2.2.4). Entre las adaptaciones realizadas (Kastrantas et al. 2009, Palavitsinis et al. 2009) se encuentran la definición de restricciones sobre metadatos obligatorios, restricciones sobre la multiplicidad de los metadatos, la adición/extensión de vocabularios (algunos de ellos conectados a ontologías) adaptados al universo de discurso de Organic.Edunet y la gestión de derechos sobre los objetos de aprendizaje. Es importante destacar que este trabajo de tesis, parcialmente, se apoya en estos trabajos –en concreto en Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja (2007) y Feroso-García et al. (2008)–.

Otro trabajo que se desea destacar es la propuesta presentada en Koutsomitropoulos et al. (2009, 2010) y Alexopoulos et al. (2011). La novedad que introduce respecto a los trabajos examinados es que su propuesta de ontología (formulada en OWL) integra metadatos de Dublin Core y un subconjunto de metadatos de LOM. Los metadatos

⁵⁸OpenCyc: <http://www.opencyc.org/>

añadidos de LOM provienen de las categorías 2. *Life Cycle*, 5. *Educational* y 7. *Annotation*, y se trata de metadatos que no encuentran correspondencia exacta entre los metadatos propuestos en el núcleo básico (nivel *Simple*) de Dublin Core, aunque sí que están relacionados con elementos que pertenecen al nivel *Qualified* de Dublin Core (véase la subsección 2.2.3). La ontología que proponen, entre otros elementos, transforma varios de los vocabularios propuestos por ambos esquemas de metadatos en clases cuyas instancias son los valores propuestos para dichos vocabularios. Adicionalmente, la ontología también permite detectar cómo se relacionan los metadatos de ambas especificaciones, más allá de las relaciones de equivalencia reseñadas en el texto asociado a LOM para los metadatos de Dublin Core que pertenecen al núcleo básico. A modo de ejemplo, la ontología expresa (a través de la definición de una relación de especialización) que ciertos metadatos de LOM de la categoría 5. *Educational* son más específicos que ciertos términos de Dublin Core del nivel *Qualified*. Adicionalmente, también añaden nuevos metadatos/valores que constituyen refinamientos de metadatos/valores existentes (por ejemplo, este sería el caso de coautor que constituye una especialización del concepto autor). En consecuencia, la ontología que se deriva de su propuesta constituye una ontología de metamodelo que integra ambos esquemas de metadatos en un modelo único. La ontología se integra en un repositorio de propósito general desarrollado por la universidad a la que pertenecen los autores. Como resultado, se consigue navegar a través de los metadatos de los objetos de aprendizaje almacenados en repositorio de manera más flexible. De manera similar, la propuesta facilita la realización de búsquedas semánticas sobre el repositorio que mejoran los resultados obtenidos por búsquedas más tradicionales basadas en cadenas de caracteres (por ejemplo, a través del uso de palabras clave).

Para finalizar, el último trabajo que se examina es el propuesto por Nilsson et al. –Nilsson et al. (2003), Nilsson et al. (2006) y Nilsson (2010)–. De manera similar al caso anterior, el foco de interés se centra en el desarrollo de esquemas para la descripción de los objetos de aprendizaje que combinan metadatos de LOM y Dublin Core. Entre las principales aportaciones se destacan, por un lado, el desarrollo de un vocabulario estandarizado en RDF orientado a capturar las propiedades de los elementos propuestos por LOM⁵⁹, y por otro, una propuesta que permite expresar instancias estrictamente conformes a LOM de acuerdo al modelo conceptual propuesto por Dublin Core, de

⁵⁹IEEE P1484.12.5 Standard for Resource Description Framework (RDF) Vocabulary for IEEE Learning Object Metadata (LOM) Data Elements: <http://standards.ieee.org/develop/project/1484.12.5.html>

tal manera que permite que las descripciones LOM expresadas en RDF puedan ser reutilizadas y procesadas por aplicaciones RDF y Dublin Core⁶⁰. Este último trabajo, liderado por Nilsson, es el resultado de la colaboración del DCMI y WG12 del IEEE LTSC. Entre las dificultades, se destaca que LOM y Dublin Core, para la descripción de los elementos que incorporan, utilizan modelos conceptuales de distinta naturaleza. Mientras que LOM se centra en una descripción informal (orientada a personas) que sigue un esquema jerárquico con elementos que incluyen a otros elementos –fuertemente influenciado por su codificación en XML–, Dublin Core sigue un modelo de datos basado en RDF, el cual facilita la interpretación (desde un punto de vista semántico) de los elementos que incorpora. En consecuencia, la representación de LOM en RDF no es una mera traducción (como sería el caso de su representación en XML), sino que es necesario acometer un proceso de interpretación que fije el significado de los elementos que incorpora. Dicho proceso de interpretación requiere un análisis de cada uno de los elementos que incorpora LOM (metadatos, categorías, los distintos tipos de datos, etc.) y la toma de decisiones sobre como éstos quedan representados en RDF.

⁶⁰IEEE P1484.12.4 Recommended Practice for Expressing IEEE Learning Object Meta- data Instances Using the Dublin Core Abstract Model: <http://standards.ieee.org/develop/project/1484.12.4.html>

Capítulo 3

Planteamiento del problema

Lo que todo el mundo da por hecho, merece una urgente revisión.

Georg Christoph Lichtenberg

El uso y gestión de metadatos en diferentes disciplinas asociadas a la ciencia informática aparece como una necesidad desde épocas bien tempranas. En Sen (2004) se presenta, desde una perspectiva histórica, la evolución en el uso y gestión de metadatos. Por ejemplo, en los años 60, el uso de metadatos se centra en la tecnología de ficheros, extendiéndose en los 70 a la tecnología de bases de datos. En los años 80 y 90 se aplica al paradigma de orientación a objetos y a la gestión de proyectos software. Finalmente, con el inicio del nuevo siglo, el interés en el uso y gestión de metadatos, se renueva gracias a la Web semántica, donde los metadatos describen, entre otros, el contenido y la estructura de los recursos disponibles en la Web. Dado que el *e-learning* constituye un dominio particular de aplicación de la Web semántica, centrado en el caso de entornos de enseñanza-aprendizaje, se explica que existan propuestas de metadatos para la descripción de los objetos para el aprendizaje.

Existen diversas definiciones del concepto de metadato. Por ejemplo, en Haase (2004) se propone la siguiente definición:

Cualquier dato que proporcione conocimiento sobre un ítem sin que sea necesario examinar el contenido del ítem.

La definición previa pone de relieve algunos de los beneficios que se esperan obtener del uso de metadatos, que no son otros que los de facilitar y mejorar la gestión, búsqueda y recuperación de los elementos que describen los metadatos. Por ejemplo,

en relación a la búsqueda, el uso de metadatos debe permitir distinguir entre elementos relevantes e irrelevantes, sin que sea necesario acceder a los contenidos de los elementos que están siendo descritos.

En consecuencia, los metadatos constituyen una representación, sujeta a un determinado propósito, que selecciona, resume y define el conjunto de propiedades relevantes que permiten la descripción de los elementos de interés. Como mecanismo de representación de conocimiento, al margen de disponer de estructuras sintácticas que permitan representar dicho conocimiento, también es necesario que estas estructuras sean suficientemente precisas y expresivas, de manera que el significado (o la semántica) de los metadatos quede delimitado. De esta manera, se facilita la interpretación de su significado y también se posibilita la implementación de mecanismos que permitan automatizar o semi automatizar la gestión (por ejemplo, la anotación y la búsqueda) de los elementos de interés que describen los metadatos. En definitiva y, de acuerdo a autores como Sheth et al. (2005) o Haase (2004), se requiere de metadatos que tengan asociada una semántica formal, es decir, metadatos que se fundamenten en el uso y desarrollo de ontologías, que faciliten la anotación automática o semi automática de los elementos de interés, y el uso de capacidades de razonamiento que mejoren, entre otros, los procesos de búsqueda.

En el caso de este trabajo de tesis, los elementos de interés son los objetos de aprendizaje y el conjunto de metadatos que recogen sus propiedades relevantes. El conjunto de metadatos, los cuales quedan recogidos en registros de metadatos, son los propuestos por el estándar LOM, dado que es la especificación más completa exclusivamente orientada a la descripción de los objetos de aprendizaje. Para mejorar la semántica de los metadatos definidos en LOM, la propuesta que se realiza en este trabajo de tesis se sustenta parcialmente en el uso de ontologías de conocimiento general.

Para fundamentar la investigación desarrollada, en las secciones 3.1 y 3.2 se revisan, respectivamente, las limitaciones del estándar LOM y las consecuencias que dichas limitaciones tienen en la gestión de los objetos de aprendizaje. Por su parte, en la sección 3.3, se analizan las limitaciones de las principales ontologías existentes para la representación de los objetos de aprendizaje, las cuales han sido también presentadas en el capítulo 2. Finalmente, la sección 3.4 presenta los beneficios que se derivarían del uso de ontologías de conocimiento general en el ámbito de los objetos para el aprendizaje.

3.1. Limitaciones del estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje

El estándar LOM presenta diversas limitaciones para la descripción de los objetos de aprendizaje. Estas limitaciones se materializan en una descripción pobre (desde un punto de vista semántico o de significado) de los objetos de aprendizaje, orientadas al consumo de personas y, en consecuencia, de difícil utilización por parte de las aplicaciones que gestionan los objetos de aprendizaje, tal y como se presentará en la sección 3.2.

La causa principal de esta falta de expresividad semántica se debe en gran medida al lenguaje propuesto por el propio estándar para la representación de las instancias de metadatos que caracterizan a los objetos de aprendizaje. Este lenguaje es XML el cual, tal y como se ha presentado en el capítulo 2, está orientado a la descripción sintáctica de la estructura de documentos Web. En consecuencia, LOM se orienta principalmente hacia la estructuración de los metadatos, más que a la definición precisa de dichos metadatos y su contenido, es decir, el valor (o valores) que se les asigna. Como argumentan diversos autores –Barton et al. (2003), Kabel et al. (2004), Brase (2005) y Dodero et al. (2005)–, esto es insuficiente para los propósitos de la Web semántica.

En las siguientes subsecciones se analizan las principales limitaciones (no independientes entre sí) que se derivan de la falta de formalización de LOM y de la incertidumbre que generan ciertos aspectos ligados a su concepción. El análisis permite concluir que existen una serie de metadatos especialmente problemáticos en LOM. Principalmente estos metadatos se encuentran en las categorías 1. *General*, 2. *Life cycle*, 5. *Educational*, 6. *Rights*, 7. *Relation* y 9. *Classification*. Estas conclusiones coinciden con las realizadas por otros autores como sería el caso, por ejemplo, de Friesen (2004a) y, especialmente, Farance (2003).

3.1.1. Semántica implícita

En el caso de LOM existen varias formas de semántica implícita, es decir, semántica que queda oculta y que, en consecuencia, difícilmente puede ser procesada por las aplicaciones que gestionan los objetos de aprendizaje.

Una primera forma de semántica implícita se manifiesta en metadatos que representan múltiples conceptos del mundo real (en general, en LOM, éstos quedan representados a través de cadenas de caracteres) y/o a través de metadatos multivaluados.

Como ejemplos se pueden citar metadatos como 1.6 *Coverage* o 5.6 *Context* pertenecientes, respectivamente, a las categorías 1. *General* y 5. *Educational*. El metadato 1.6 *Coverage* permite expresar de manera textual la época, cultura y zona geográfica tratada en el objeto de aprendizaje que está siendo descrito. De la definición previa se desprende que se trata de un metadato susceptible de haber sido modelado, en terminología del propio estándar, como un metadato agregado que incorporase de manera explícita tres nuevos metadatos simples que representasen los tres conceptos del mundo real (época, cultura y zona geográfica) que quedan ocultos en el metadato 1.6 *Coverage*. En el caso del metadato 5.6 *Context*, que permite definir el entorno en el que se utilizará el objeto de aprendizaje que está siendo descrito, LOM recomienda hacer uso de su naturaleza multivaluada para especificar, a un primer nivel, el entorno de acuerdo al vocabulario propuesto por LOM (*school, higher education, training, other*) y mediante instancias adicionales realizar el refinamiento de dicho entorno. En este caso es importante destacar que existen metadatos en la categoría 9. *Classification* que permitirían realizar dicho refinamiento de manera explícita al nivel de detalle que se considerase necesario.

Una segunda forma de semántica implícita se relaciona con el hecho que existen metadatos que no son independientes entre sí. Este sería el caso por ejemplo, de los metadatos 1.7 *Structure* y 1.8 *Aggregation level* de la categoría 1. *General*, o de los metadatos 5.1 *Interactivity level* y 5.2 *Learning resource type* de la categoría 5. *Educational*. El metadato 1.7 *Structure* permite definir la estructura organizativa interna que subyace en el objeto de aprendizaje, permitiendo distinguir entre objetos de aprendizaje atómicos (*atomic*) y objetos de aprendizaje compuestos de diferentes tipos (*collection, networked, hierarchical y linear*). Por su parte el metadato 1.8 *Aggregation level* permite definir la granularidad funcional del objeto de aprendizaje. La relación entre ambos metadatos establece que los objetos de aprendizaje atómicos tienen asociado el menor nivel de granularidad (valor 1), mientras que los objetos de aprendizaje compuestos tienen asociados niveles de granularidad de orden superior a 1. Por su parte, los metadatos 5.1 *Interactivity level* y 5.2 *Learning resource type* permiten definir, respectivamente, el tipo de aprendizaje promovido (*active, passive o mixed*) por el objeto de aprendizaje

y el tipo específico¹ (desde un punto de vista educativo) del objeto de aprendizaje bajo consideración. Los tipos de recursos se pueden clasificar en función del tipo de aprendizaje que fomentan, en objetos de aprendizaje pasivos (este sería el caso de *lecture* o *narrative text*) y activos (por ejemplo, *exam* o *experiment*). Dado que los objetos de aprendizaje pueden ser de diferentes tipos (el metadato 5.2 *Learning resource type* es multivaluado) los mixtos serían aquéllos que incorporan elementos pasivos y activos.

Para finalizar, del párrafo anterior se deduce una tercera forma de semántica implícita: la existencia de diferentes clases de objetos de aprendizaje. LOM no incluye de manera explícita la noción de clase (o tipo) de objeto de aprendizaje, a pesar que a partir de la lectura del estándar es posible concluir que ciertos metadatos permiten inducir diferentes clases de objetos de aprendizaje, que a su vez se pueden organizar en diferentes jerarquías de generalización/especialización. Este sería el caso, por ejemplo, de los metadatos 1.7 *Structure*, 1.8 *Aggregation level*, 5.1 *Interactivity level* y 5.2 *Learning resource type* anteriormente citados. Entre otros aspectos, tratar la noción de clase de objetos de aprendizaje permite detectar nuevos metadatos que pueden estar relacionados. A modo de ejemplo, este sería el caso de los objetos de aprendizaje compuestos (valor *collection*, *networked*, *hierarchical* o *linear* para el metadato 1.7 *Structure*). En este caso, el valor de diversos metadatos (por ejemplo, buena parte de los metadatos de la categoría 4. *Technical*) del objeto de aprendizaje compuesto están relacionados con los valores de sus metadatos homólogos de los objetos de aprendizaje que forman parte del objeto de aprendizaje compuesto.

3.1.2. Múltiples alternativas de representación

LOM, en ciertos casos, ofrece diferentes alternativas para la representación de información de naturaleza similar.

Éste es el caso del entorno donde se utilizará el objeto de aprendizaje, que queda definido a través del metadato 5.6 *Context*. Tal y como se ha comentado en la subsección 3.1.1, la información representada por este metadato se puede refinar bien a través de la declaración de múltiples instancias de este mismo metadato, o bien a través de

¹LOM propone como vocabulario asociado al metadato 5.2 *Learning resource type* el conjunto de valores *exercise*, *simulation*, *questionnaire*, *diagram*, *figure*, *graph*, *index*, *slide*, *table*, *narrative text*, *exam*, *experiment*, *problem statement*, *self assessment* y *lecture*.

metadatos de la categoría 9. *Classification*, tomando como propósito de clasificación el nivel educativo (valor *educational level* para el metadato 9.1 *Purpose*²).

Otro ejemplo que ilustra esta limitación sería el caso de la representación de objetos de aprendizaje que tienen asociadas versiones. El hecho que un objeto de aprendizaje constituye una versión se puede representar a partir de los metadatos de la categoría 2. *Life cycle*, la cual agrupa características relacionadas con la historia y estado actual de un objeto de aprendizaje. Concretamente se puede especificar a través del metadato 2.1 *Version*. Pero también se puede representar a través de metadatos de la categoría 7. *Relation*. En este último caso, es posible definir que un objeto de aprendizaje constituye una versión de otro objeto de aprendizaje. También es posible definir la relación inversa, especificando que un objeto de aprendizaje tiene asociados otros objetos de aprendizaje que lo versionan. Estas relaciones (*is version of* y su relación inversa *has version*) se incluyen en el vocabulario propuesto para el metadato 7.1 *Kind*³, que permite definir la naturaleza de la relación que se establece entre el objeto de aprendizaje que está siendo descrito con otros objetos de aprendizaje. La representación de versiones a través de la categoría 7. *Relation* es, desde un punto de vista semántico, más significativa en comparación al uso de la categoría 2. *Life cycle*. En primer lugar permite identificar cuál es el objeto de aprendizaje versionado y cuál constituye el objeto de aprendizaje versión, induciendo nuevas clases de objetos de aprendizaje (de manera similar a la clase de objetos de aprendizaje compuestos anteriormente mencionada). Es segundo lugar, dado que las relaciones que se establecen (*is version of* y su relación inversa *has version*) verifican la propiedad transitiva, es posible determinar la evolución completa (a efectos de versiones) a la que ha estado sujeto cada objeto de aprendizaje. Finalmente, en tercer lugar, es posible establecer nuevas relaciones entre los valores que toman ciertos metadatos en el objeto de aprendizaje versión y en el objeto de aprendizaje que ha sido versionado. A modo de ejemplo, el idioma o el ámbito (metadatos 1.3 *Language* y 1.6 *Coverage* de la categoría 1. *General*) de un objeto de aprendizaje versión serán idénticos a los del objeto de aprendizaje del cual constituye una versión. Esta situación también es aplicable a ciertos metadatos de la categoría 5. *Educational* (por ejemplo,

²LOM propone, a través de un vocabulario, diferentes propósitos de clasificación. Estos propósitos de clasificación son: *discipline*, *idea*, *prerequisite*, *educational objective*, *accessibility restrictions*, *educational level*, *skill level*, *security level* y *competency*.

³Los diferentes tipos de relación entre objetos de aprendizaje que LOM permite definir son: *is part of* (*has part*), *is version of* (*has version*), *is format of* (*has format*), *references* (*is referenced by*), *is based on* (*is basis for*) y *requires* (*is required by*).

a los metadatos 5.1 *Interactivity type*, 5.2 *Learning resource type*, 5.3 *Interactivity level* o 5.4 *Semantic density*).

3.1.3. Definiciones imprecisas

La definición de ciertos elementos –metadatos y vocabularios– de LOM, en diversas ocasiones, resulta imprecisa. Este hecho causa ambigüedades, y en consecuencia, la posibilidad de realizar múltiples interpretaciones.

De nuevo, éste es el caso de alguno de los elementos citados en las subsecciones 3.1.1 y 3.1.2. Por ejemplo, LOM define de manera imprecisa aspectos relativos a las diferentes estructuras organizativas internas de los objetos de aprendizaje que causan problemas en la definición del metadato 1.7 *Structure*. En concreto, no especifica de manera explícita las relaciones que habilitan la creación de objetos de aprendizaje compuestos (aunque se deduce que se trata de la relación *is part of* y su relación inversa *has part* definidas en la categoría 7. *Relation*), ni tampoco especifica la naturaleza exacta de las relaciones que se establecen entre ciertos tipos de objetos de aprendizaje compuestos (como sería el caso de objetos de aprendizaje *networked*, *hierarchical* y *linear*). Esto causa que estas últimas relaciones, al menos, se puedan interpretar bien como un mecanismo para indicar una organización coherente del contenido asociado al objeto de aprendizaje, o bien como un mecanismo para representar la secuenciación de los objetos de aprendizaje en una experiencia educativa. Se trata de dos interpretaciones bien diferentes, en el primer caso las relaciones tratan aspectos relativos al proceso de creación del objeto de aprendizaje, mientras que en el segundo caso las relaciones tratan sobre aspectos relativos a la utilización del objeto de aprendizaje. A modo de ejemplo, supóngase que se decide que este capítulo constituye un objeto de aprendizaje compuesto (concretamente de tipo *linear*) creado a partir de objetos de aprendizaje de granularidad menor (cada una de las secciones que conforman el capítulo). En la interpretación que las relaciones que se establecen expresan la organización del contenido asociado al objeto de aprendizaje compuesto, lo que se está representando es la ordenación coherente (desde un punto de vista retórico) del contenido a juicio de la persona que crea el objeto de aprendizaje (sobre el ejemplo propuesto, el autor de esta memoria de tesis). Esto no significa que el uso posterior del objeto de aprendizaje por parte de los posibles destinatarios (un revisor, un miembro del tribunal) pueda ser diferente, de tal manera que se puedan realizar distintas lecturas del capítulo (por

ejemplo, una lectura selectiva omitiendo ciertas secciones o una lectura completa pero en un orden diferente).

Finalmente, LOM también presenta definiciones imprecisas en buena parte de los metadatos pertenecientes a la categoría 5. *Educational* como serían, por ejemplo, los metadatos 5.5 *Intended end user role*, 5.8 *Difficulty* o 5.9 *Typical learning time*. Estas imprecisiones tienen que ver, en gran medida, con el hecho que se tratan –de acuerdo a Recker & Wiley (2001)– de metadatos de naturaleza extrínseca (también denominados metadatos cambiantes, variables o subjetivos) en contraposición a aquellos metadatos que tienen una naturaleza intrínseca (es decir, metadatos persistentes, canónicos u objetivos) como sería el caso de los metadatos pertenecientes, por ejemplo, a las categorías 1. *General* o 4. *Technical*. Los metadatos de naturaleza extrínseca adquieren significación dentro de una comunidad de práctica. La identificación de los metadatos de naturaleza extrínseca y la segregación de su definición de los metadatos de naturaleza intrínseca (por ejemplo, a través de la definición de registros de metadatos diferenciados) permite representar los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, y puede constituir un elemento valioso de cara a facilitar la reutilización de los objetos de aprendizaje.

3.1.4. Omisiones

El estándar LOM presenta diversos casos de omisión en la definición de elementos de interés para la descripción de los objetos de aprendizaje.

Un primer caso, sería el hecho que algunos de los vocabularios propuestos por LOM resultan insuficientes. Adicionalmente, dado que se tratan de listas de valores, tampoco se expresan las relaciones que existen entre algunos de estos valores. A modo de ejemplo, en el caso del vocabulario asociado al metadato 5.2 *Learning resource type*, LOM no recoge el hecho que *exercise* generaliza *problem statement* y *self assessment*.

Una segunda situación sería la omisión de información sobre metadatos relacionados, es decir, sobre metadatos cuyo valor depende del valor que pueden tomar otros metadatos. Tal y como ya se ha argumentado en las subsecciones 3.1.1 y 3.1.2, esto se debe, en parte, a que LOM no identifica de manera explícita la existencia del concepto de clase de objeto de aprendizaje. Las relaciones que se establecen entre los metadatos

se podrían expresar mediante restricciones de integridad, es decir, mediante predicados que deben ser ciertos. LOM define un número reducido de restricciones de integridad (algunos ejemplos de estas restricciones se pueden encontrar en la definición de los metadatos de la categoría 4. *Technical*).

Un tercer caso de omisión surge como consecuencia de la débil definición (por imprecisiones como las discutidas en la subsección 3.1.3) de algunos metadatos. Este es el caso, por ejemplo, de las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje y que se expresan a través de los metadatos de la categoría 7. *Relation*. Por ejemplo, LOM no define las propiedades (transitividad, asimetría etc.) asociadas al conjunto de relaciones que propone.

Una cuarta situación es la omisión de metadatos en ciertas categorías. Algunos ejemplos serían la falta de metadatos que permitiesen recoger diferentes tipos de comentarios, valoraciones y recomendaciones sobre los objetos de aprendizaje por parte de diferentes agentes (profesores, asociaciones profesionales e incluso estudiantes). La inclusión de esta información se podría acometer mediante extensiones de la categoría 8. *Annotation*. Otra categoría susceptible de ser extendida sería 6. *Rights*. Mediante los metadatos de esta categoría se pueden definir (a un nivel de detalle mínimo) los derechos de propiedad intelectual y las condiciones de uso del objeto de aprendizaje. Finalmente, también pueden resultar insuficientes los metadatos que recogen información pedagógica de los objetos de aprendizaje (ya sea a través de los metadatos de la categoría 5. *Educational* o de la categoría 9. *Classification*). A modo de ejemplo, LOM no contempla la inclusión de información sobre el tipo de estudiante al que se adaptan mejor los contenidos, ni información detallada sobre las estrategias didácticas seguidas en el proceso de diseño de los objetos de aprendizaje, o sobre su rol instruccional (Allert et al. 2002, Mohan & Brooks 2003a, Yahya & Yussoff 2008, Gaeta et al. 2009). Sin embargo, en relación a posibles extensiones de las categorías 6. *Rights*, 5. *Educational* y 9. *Classification*, y a diferencia de la categoría 8. *Annotation*, es importante destacar que existen especificaciones orientadas a la definición de este tipo de información –en CEN-LTSO (2011) se puede encontrar una descripción de estas especificaciones–. En consecuencia, antes de proceder a la extensión de LOM, se tendrá que evaluar si ésta es realmente necesaria.

Finalmente, un cuarto caso de omisión se relaciona con el hecho que LOM no expresa de manera explícita cuantos registros de metadatos puede tener asociado un objeto de aprendizaje. Como consecuencia, en general, existe la asunción implícita de asociar un único registro de metadatos a cada objeto de aprendizaje (Recker & Wiley 2001, Downes 2004). Sin embargo, tal y como se ha comentado con anterioridad, disponer de diversos registros de metadatos puede ayudar a la definición de los diferentes contextos de uso pedagógico de los objetos de aprendizaje. Adicionalmente también puede ayudar a la descripción de los objetos de aprendizaje a diferentes niveles de detalle o desde diferentes perspectivas, a crear registros de metadatos orientados a una audiencia concreta o escritos en diferentes idiomas (Downes 2004, Sánchez-Alonso 2005).

3.1.5. Incertidumbre derivada de la opcionalidad

En LOM todos los metadatos son opcionales. Esto significa que, incluso un registro de metadatos que no defina valor para ninguno de los metadatos, sería conforme a LOM.

Esta flexibilidad, en apariencia ventajosa, permite que cada organización pueda elegir libremente el conjunto de metadatos que considere oportuno para la descripción de sus objetos de aprendizaje. En contrapartida, sin embargo, dicha flexibilidad puede causar cierta incertidumbre. En concreto, la ausencia de un metadato en un registro de metadatos puede obedecer a diferentes motivos. En primer lugar, puede ser debido a que no se considera de utilidad para la descripción de los objetos de aprendizaje. En segundo lugar, puede estar relacionado con el hecho que, considerándose de utilidad, se desconoce el valor que ese metadato toma para el objeto de aprendizaje que está siendo descrito. Finalmente, en tercer lugar, puede deberse a que el metadato en cuestión, a pesar de considerarse de interés, no es aplicable para el objeto de aprendizaje que se describe. Este último caso sería, por ejemplo, el del metadato 4.7 *Duration* de la categoría 4. *Technical* que únicamente es de aplicación para ciertos objetos de aprendizaje de tipo multimedia.

Esta situación, de nuevo, se puede relacionar con el concepto de clase de objeto de aprendizaje. Poder distinguir entre diferentes clases de objetos de aprendizaje ayudaría, entre otros aspectos, a determinar el conjunto de metadatos que son aplicables a los objetos de aprendizaje en función de la clase (o clases) a las que éstos pertenezcan. A

su vez, las diferentes clases de objetos de aprendizaje se podrían representar mediante registros de metadatos diferenciados.

3.1.6. Otras limitaciones

Para finalizar, entre otros aspectos de índole más particular no cubiertos por LOM, pero no por ello de menor importancia, se puede citar la ausencia de soporte para la descripción de objetos de aprendizaje de contenido idéntico o relacionado expresados en diferentes idiomas, y que pueden ser usados, por ejemplo, en entornos de enseñanza-aprendizaje multilingües (Najjar et al. 2003, Lemnitzer et al. 2007). De manera similar LOM tampoco analiza las implicaciones que se derivan del hecho que un mismo contenido pueda estar disponible en diferentes formatos de representación final (Downes 2004, Iglesias et al. 2009).

Nuevamente, las situaciones previas se podrían tratar a través de la identificación de diferentes clases de objetos de aprendizaje y sus metadatos de interés, conjuntamente con la definición de nuevas relaciones que se podrían incorporar a la categoría 7. *Relation*. Adicionalmente también sería posible detectar, para objetos de aprendizaje relacionados, metadatos cuyo valor va a ser dependiente entre sí, de manera similar a lo presentado en la subsección 3.1.2 con respecto a objetos de aprendizaje para los que existen diferentes versiones.

3.2. Dificultades en la gestión de los objetos de aprendizaje

Las limitaciones presentadas en la sección 3.1 dificultan la realización de ciertas tareas como serían la anotación de los objetos de aprendizaje (es decir, la elección de metadatos y su asignación de valores los cuales quedan recogidos mediante registros de metadatos), la búsqueda (de acuerdo a diferentes criterios) de los objetos de aprendizaje disponibles en repositorios, la reutilización de los objetos de aprendizaje (sin cambios en el contenido), su reutilización para la elaboración de nuevos objetos de aprendizaje a partir de objetos de aprendizaje preexistentes (reutilización parcial o total del contenido en base a su composición en nuevos objetos de aprendizaje de granularidad mayor), así como otros procesos asociados como serían el examen y la selección de los objetos

de aprendizaje. De manera similar, las limitaciones también afectan a otros procesos como serían los de control y auditoría de los objetos de aprendizaje.

En las siguientes subsecciones se presenta un análisis más detallado de las dificultades que se derivan de las limitaciones identificadas en la sección 3.1.

3.2.1. Dificultades en la anotación de los objetos de aprendizaje

Con respecto a la anotación de los objetos de aprendizaje, cabe reseñar diferentes dificultades, las cuales afectan negativamente a la calidad de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje, tal y como exponen diversos estudios empíricos (Friesen 2004a, Kabel et al. 2004, Cechinel et al. 2009). A continuación se detallan dichas dificultades y se apunta cómo se pueden solucionar:

1. Existencia de registros de metadatos que pueden contener información inconsistente como consecuencia de la comisión de errores por parte de las personas que informan los registros de metadatos, o como consecuencia del desconocimiento (o no tratamiento) de elementos relevantes como sería el caso de metadatos cuyos valores están relacionados debido, por ejemplo, a la existencia de diferentes clases y/o tipos de relaciones entre los objetos de aprendizaje. Un ejemplo de inconsistencia podría ser, en el caso de objetos de aprendizaje compuestos, la no coincidencia entre los requisitos técnicos (representados a través del metadato 4.4 *Requirement* de la categoría 4. *Technical*) asociados al objeto de aprendizaje compuesto con relación a los requisitos técnicos asociados a los objetos de aprendizaje que forman parte del objeto de aprendizaje compuesto. En el ejemplo propuesto, los requisitos técnicos del objeto de aprendizaje compuesto deben incorporar todos los requisitos técnicos asociados a los objetos de aprendizaje que forman parte del objeto de aprendizaje compuesto. En otras palabras, el valor del metadato 4.4 *Requirement* para el objeto de aprendizaje compuesto se puede derivar a partir de los valores asociados al metadato 4.4 *Requirement* para cada uno de los objetos de aprendizaje parte que conforman el objeto de aprendizaje compuesto. Esta situación se relaciona sobre todo con la existencia de semántica implícita, definiciones imprecisas y omisiones como las presentadas, respectivamente, en las subsecciones 3.1.1, 3.1.3 y 3.1.4. Para intentar minimizar

los problemas asociados a la situación descrita, se debería potenciar al máximo la creación semi automática de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje, estableciendo métodos que permitan, por ejemplo, derivar de forma automática el valor de metadatos relacionados. En Hatala & Richards (2003) se presentan una serie de fuentes para asignar valor a los metadatos, así como métodos que habilitan dicha semi automatización, disminuyendo el riesgo de la comisión de errores en un proceso, por otra parte, de naturaleza tediosa.

2. Existencia de registros de metadatos heterogéneos. Esta heterogeneidad se manifiesta de diferentes formas:

- a) En cuanto a la manera de representar información de naturaleza idéntica o similar como sería, por ejemplo, la representación de objetos versionados discutida en la subsección 3.1.2. Esta situación se relaciona principalmente con la existencia de múltiples alternativas de representación. Para solventar la situación y favorecer al máximo la automatización de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje, sólo debería existir una única alternativa de representación, y entre las alternativas existentes, se debería elegir la que aporte una mayor expresividad semántica.
- b) En cuanto al significado de ciertos elementos (metadatos y/o vocabularios) como consecuencia de diferentes interpretaciones de los mismos. Esta situación, sobre todo, se relaciona con la existencia de definiciones imprecisas que derivan en diferentes interpretaciones. Por ejemplo, éste sería el caso de la estructuración interna de los objetos de aprendizaje compuestos discutida en la subsección 3.1.3, la cual es susceptible de ser interpretada como la organización retórica de los contenidos asociados al objeto de aprendizaje compuesto o como su secuenciación en el contexto de una experiencia educativa. Para solucionar las dificultades que se derivan de la situación descrita sería necesario, para estos elementos, garantizar una interpretación única o al menos hacer explícita dicha interpretación.
- c) En cuanto a los vocabularios (o su representación mediante ontologías) utilizados. LOM permite el desarrollo de vocabularios propios, pero su uso puede comprometer la interoperabilidad semántica con respecto a aquellas organizaciones que no los usen. Adicionalmente cabe la posibilidad que el uso de dichos vocabularios (debido a su especificidad) queden restringidos al domi-

nio para el que han sido desarrollados. El desarrollo de nuevos vocabularios, en esencia, tiene su origen en la existencia de definiciones imprecisas y omisiones como las presentadas en las subsecciones 3.1.3 y 3.1.4. Para solventar los problemas presentados, por ejemplo, sería necesario proceder a la integración (mediante un proceso de alineamiento o de fusión) de los diferentes vocabularios u ontologías desarrollados. Otra posible solución consistiría en la extensión, a través de un proceso de refinamiento basado en ontologías, de los vocabularios originalmente propuestos por LOM.

- d)* En cuanto el número y tipología de los metadatos incluidos en los registros de metadatos que puede derivar en registros de metadatos desiguales, e incluso con un nivel de detalle en la descripción inadecuado, debido a la ausencia de información relevante. Esta situación se relaciona principalmente con el carácter opcional de los metadatos en LOM (discutida en la subsección 3.1.5) y la existencia de definiciones imprecisas y omisiones presentadas, respectivamente, en la subsecciones 3.1.3 y 3.1.4. Todo esto causa que, en ocasiones, los registros de metadatos eviten la inclusión de metadatos especialmente problemáticos. En este caso, las soluciones pasarían, de nuevo, por fijar la semántica de dichos metadatos y por incorporar el concepto de clase de objeto de aprendizaje (a través del diseño de diferentes tipos de registros de metadatos) como mecanismo de reflexión para la detección de metadatos aplicables y no aplicables, y entre los aplicables, facilitar la elección (si así se desea) de aquellos metadatos de uso obligatorio.

3.2.2. Dificultades en la búsqueda, selección, reutilización, control y auditoría de los objetos de aprendizaje

Las consecuencias de unos registros de metadatos de baja calidad causan que otros procesos relacionados con la gestión de los objetos de aprendizaje se vean afectados. En el peor caso, la existencia de registros de metadatos con errores y/o débilmente informados, puede causar que los objetos de aprendizaje que describen permanezcan invisibles en los repositorios que de manera directa o indirecta (de acuerdo a lo presentado en el capítulo 2) los almacenan. En consecuencia, dichos objetos de aprendizaje, difícilmente van a ser encontrados y mucho menos reutilizados (Currier et al. 2004).

A continuación se analizan las carencias en los procesos que se ven afectados como consecuencia de disponer de registros de metadatos poco formalizados (por tanto, poco expresivos desde un punto de vista semántico), como sería el caso de registros de metadatos expresados en XML. Entre estos procesos están la búsqueda y reutilización de los objetos de aprendizaje, así como el examen y selección de los mismos, y los procesos de control y auditoria sobre los objetos de aprendizaje. Posiblemente, de entre todos los procesos, el más relevante es el de búsqueda dado que el resto de procesos, en mayor o menor medida, se basan en sus resultados.

Antes de proceder al análisis, es importante destacar que la discusión de las carencias en los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje se limita a repositorios centralizados (según las clasificaciones de los repositorios presentadas en el capítulo 2). En caso que los procesos de gestión involucren a repositorios distribuidos, especialmente si éstos han sido desarrollados de manera independiente y operan de manera autónoma (como podría ser el caso de la federación de repositorios), las carencias que se presentan a continuación se pueden ver agudizadas debido a la aparición de diversos tipos de heterogeneidades, no únicamente en relación a la composición de los registros de metadatos –metadatos y vocabularios elegidos que incluso pueden proceder de diferentes esquemas de metadatos, dando lugar a diferentes perfiles de aplicación, de acuerdo a Duval et al. (2002)– sino también en relación a la disparidad de los criterios aplicables en las búsquedas o los diferentes sistemas de clasificación empleados para la descripción de los contenidos de los objetos de aprendizaje.

Los repositorios, como los presentados en el capítulo 2, utilizan búsquedas basadas en caracteres para la localización de objetos de aprendizaje. Cada búsqueda se basa en el valor que toman uno o diversos metadatos. Las condiciones de búsqueda pueden ser de diversa complejidad, en función de los metadatos que pueden intervenir y de los operadores lógicos que se apliquen. Los metadatos que típicamente se utilizan son el título, idioma, palabras clave, el tipo de recurso de aprendizaje, características asociadas al formato de representación final del recurso y el nivel educativo. En general, se trata de vocabularios que extienden el espacio de valores proporcionado por LOM. Estos vocabularios son listas de valores, y por lo tanto, no se organizan de manera taxonómica. Adicionalmente, también se dispone de taxonomías o colecciones que clasifican los contenidos de acuerdo a su disciplina. En definitiva, de acuerdo a LOM, estos criterios involucran a metadatos de las categorías 1. *General* (metadatos 1.2 *Title*, 1.3 *Language*

y 1.5 *Keywords*), 4. *Technical* (4.1 *Format*), 5. *Educational* (metadatos 5.2 *Learning resource type* y 5.6 *Context*) y 9. *Classification* (valor *discipline* para el propósito de clasificación representado a través del metadato 9.1 *Purpose*). Es importante destacar que, en general, no se pueden realizar búsquedas de acuerdo a características pedagógicas como serían, por ejemplo, en función de las competencias u objetivos de aprendizaje promovidos por el objeto de aprendizaje o sobre los prerrequisitos que éste tiene asociados, ni sobre otros metadatos educativos como serían la dificultad o el tiempo de aprendizaje requerido (estos metadatos afectarían a las categorías 9. *Classification* y 5. *Educational*), los cuales se han determinado como problemáticos en la sección 3.1.

Los resultados obtenidos se pueden ordenar, además de por su relevancia atendiendo a los criterios de búsqueda especificados, de acuerdo a otros criterios como, por ejemplo, en función de las valoraciones que sobre los objetos de aprendizaje realizan expertos. Cada objeto de aprendizaje puede ser examinado, de tal manera que es posible recuperar información adicional que varía en función del grado de completitud del registro de metadatos que describe el objeto de aprendizaje. En general, además de metadatos como los anteriormente reseñados, se suele incluir, al menos, información sobre la localización del objeto de aprendizaje, el autor (esta información el LOM se expresa a través de la categoría 2. *Life cycle*) y las condiciones de uso del objeto de aprendizaje desde un punto de vista legal (en este caso a mayor nivel de detalle, teniendo en cuenta las limitaciones de LOM respecto los metadatos de la categoría 6. *Rights*). De nuevo, es importante destacar la no inclusión de los metadatos identificados en la sección 3.1 como problemáticos de tal manera que, por ejemplo, no es posible recuperar, y en consecuencia, tampoco es posible navegar a través de objetos de aprendizaje que pudieran estar relacionados. De manera similar tampoco se suele poder recuperar información pedagógica de interés como la anteriormente citada en la sección 3.1 en relación a la búsqueda de objetos de aprendizaje. Tras el examen de los resultados, el usuario tiene opción a acceder al contenido asociado al objeto de aprendizaje y a descargarlo. Dependiendo de los derechos asociados al objeto de aprendizaje, el usuario podrá proceder a su reutilización, por ejemplo, para crear nuevos objetos de aprendizaje.

En definitiva, como resumen, se puede concluir que la forma de formular búsquedas y de mostrar y examinar los resultados obtenidos son de naturaleza muy similar a las que típicamente y de forma histórica (antes de la aparición del paradigma de los objetos de aprendizaje) se pueden realizar en bibliotecas. En general estas búsquedas retornan

un número elevado de resultados, muchos de ellos poco ajustados a las necesidades reales del usuario.

Disponer de registros de metadatos formalizados y con un mayor detalle de descripción, facilitaría la implementación de funcionalidades como las siguientes:

1. La localización de objetos de aprendizaje que se organizan en clases relacionadas mediante jerarquías de generalización/especialización. Esta funcionalidad se relaciona con la transformación de vocabularios en taxonomías que exploten las relaciones de herencia con el objetivo de restringir o ampliar (dependiendo de las necesidades y de los resultados obtenidos) el espacio de búsqueda de los objetos de aprendizaje. Una búsqueda basada en el uso de taxonomías proporcionará mejores resultados que aquéllas que únicamente estén basadas en cadenas de caracteres. A modo de ejemplo, la utilización de una taxonomía para la caracterización de los tipos de objetos de aprendizaje (representados a través del metadato 5.2 *Learning resource type*) que incluyese que los objetos de aprendizaje de tipo *problem statement* y *self assessment* son subtipo de *exercise* permitiría encontrar, en caso que el usuario esté interesado en objetos de tipo *exercise*, no únicamente aquellos objetos de aprendizaje explícitamente identificados como tales, sino también aquellos objetos de aprendizaje que sean subtipo, es decir, los objetos de aprendizaje declarados como *problem statement* y *self assessment*. De manera similar, en caso que el usuario estuviese interesado en recuperar objetos de aprendizaje de tipo *problem statement* y no existiesen en el repositorio objetos de aprendizaje de acuerdo a esa característica, la búsqueda se podría reformular de manera automática a nivel de supertipos para mostrar resultados relacionados (sobre el ejemplo propuesto, para mostrar objetos de aprendizaje de tipo *exercise* y *self assessment*). Esta estrategia se vería mejorada a través del uso de taxonomías que clasifiquen el contenido de los objetos de aprendizaje en función de su disciplina (estas taxonomías están disponibles en la mayoría de repositorios) o a través de otras taxonomías que se pudiesen desarrollar (por ejemplo, taxonomías de competencias o taxonomías que describan la estructuración interna de los objetos de aprendizaje). Como efectos secundarios de la mejora en la calidad de las búsquedas, también se facilita el examen y selección de los objetos de aprendizaje con vistas a su posible reutilización.

2. La localización de objetos de aprendizaje entre los que se establecen relaciones no taxonómicas representadas a través de los metadatos de la categoría 7. *Relation*. La inclusión de esta información en los registros de metadatos permite:
 - a) Complementar los resultados de las búsquedas y facilitar el examen de objetos de aprendizaje relacionados, en función de la naturaleza⁴ de las relaciones que entre ellos se establecen. Por ejemplo, podría permitir mostrar únicamente la versión más reciente de un objeto de aprendizaje, en qué formatos de representación final están disponibles (en caso que un mismo contenido tuviese asociados más de un formato de representación final), en qué idiomas se encuentra disponible (en caso que un mismo contenido se haya traducido a diversos idiomas), a qué otros objetos de aprendizaje referencia o si ha sido creado sobre la base de otro (u otros) objetos de aprendizaje, qué otros objetos de aprendizaje requiere para su correcto uso etc.
 - b) Permitir la selección automática, no únicamente de los objetos de aprendizaje seleccionados, sino también de aquéllos que, por ejemplo, fuesen de uso necesario con los objetos de aprendizaje que se han seleccionado.
 - c) Facilitar la reutilización de los objetos de aprendizaje, dado que las relaciones establecidas ayudan, por ejemplo, a saber el origen y evolución de los objetos de aprendizaje, o a saber cómo los objetos de aprendizaje compuestos están, desde un punto de vista retórico, estructurados.
 - d) Ayudar al desarrollo de tareas de control y auditoría de los objetos de aprendizaje almacenados en los repositorios (por ejemplo, control de versiones y la eliminación de objetos de aprendizaje).
3. La identificación de los posibles contextos de uso pedagógico de los objetos de aprendizaje. Como se ha establecido con anterioridad en la sección 3.1, existe información que adquiere significación cuando ésta se considera dentro de una comunidad de práctica, permitiendo la representación de los posibles contextos de uso pedagógico de los objetos de aprendizaje mediante la definición de registros de metadatos diferenciados. Si tal información no se usa como criterio de búsqueda, al menos sí que debería poder ser examinada con vistas a facilitar la reutilización

⁴Los diferentes tipos de relación entre objetos de aprendizaje que LOM permite definir son: *is part of* (*has part*), *is version of* (*has version*), *is format of* (*has format*), *references* (*is referenced by*), *is based on* (*is basis for*) y *requires* (*is required by*).

de los objetos de aprendizaje. De manera similar, el repositorio debería proveer funcionalidades orientadas a que los usuarios pudiesen añadir información relativa a nuevos contextos de uso educativo, incluyendo también la posibilidad de añadir diversos tipos de comentarios sobre los objetos de aprendizaje que puedan ser incluidos en los registros de metadatos. Estos comentarios pueden ser de interés para todos los posibles contextos de uso pedagógico del objeto de aprendizaje o específicos a un contexto de uso pedagógico.

3.3. Limitaciones de las ontologías existentes para la representación de objetos de aprendizaje

En las secciones precedentes se han analizado las limitaciones del estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje. Estas limitaciones tienen como consecuencia la existencia de registros de metadatos de baja calidad. Asimismo también se han establecido las dificultades que dichas limitaciones causan en diferentes procesos relacionados con la gestión de los objetos de aprendizaje. Una manera de mejorar la expresividad semántica de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje sería al través del uso de ontologías, dado que éstas permiten recoger conocimiento relevante y consensuado sobre los objetos de aprendizaje que puede ser representado y compartido por diferentes agentes (personas y programas).

Tal y como se ha presentado en el capítulo 2, existen diferentes alternativas basadas en el uso de ontologías para la representación de los objetos de aprendizaje. El foco de interés en este trabajo de tesis se centra en aquellas alternativas de representación basadas en metadatos semánticos las cuales, además de utilizar ontologías para la representación de los valores de los metadatos, también representan mediante ontologías el propio modelo de datos elegido como esquema de representación de los objetos de aprendizaje. Estas ontologías pueden incorporar diversos elementos, los cuales se han identificado como relevantes para paliar las limitaciones y dificultades reseñadas en las secciones precedentes. Estos elementos son:

- La organización de los objetos de aprendizaje en clases entre las que se establecen relaciones de generalización/especialización.
- La definición de relaciones no taxonómicas entre los objetos de aprendizaje.

- La definición de restricciones de integridad que permitan, por un lado, garantizar la consistencia de los registros de metadatos y, por otro, derivar mecanismos orientados a la semi automatización en la asignación de valores para los metadatos que describen los objetos de aprendizaje.
- La identificación de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje.

A continuación se analiza, desde un punto de vista crítico, el grado de incorporación de los elementos previos en las ontologías existentes para la representación de objetos de aprendizaje basadas en metadatos semánticos, las cuales han sido presentadas al final del capítulo 2. De manera más específica, se analizan los trabajos que examinan y tratan de solventar las ambigüedades y limitaciones del estándar LOM, a través de definiciones formales. Estos trabajos son los de Brase et al. (Brase et al. 2003, Brase & Painter 2004, Brase & Nejdl 2004, Brase 2005), Doan et al. (Bennacer et al. 2004, Doan & Bourda 2006, Babu et al. 2007), Ghebghoub et al. (Ghebghoub et al. 2008, Ghebghoub et al. 2010) y Sánchez-Alonso et al. (Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja 2007, Feroso-García et al. 2008). En consecuencia, se descartan los trabajos de Koutsomitropoulos et al. (Koutsomitropoulos et al. 2009, Koutsomitropoulos et al. 2010, Alexopoulos et al. 2011) y Nilsson et al. (Nilsson et al. 2003, Nilsson et al. 2006, Nilsson 2010). Estos trabajos, tal y como se ha presentado en el capítulo 2, más que proponer definiciones formales orientadas a solventar las ambigüedades y limitaciones del estándar LOM, lo que hacen es identificar la semántica de algunos de los elementos propuestos por LOM en términos de Dublin Core, a través de la definición de correspondencias, obteniendo así la integración (parcial) de LOM dentro del esquema de Dublin Core.

El análisis de los trabajos seleccionados se realiza a partir de las publicaciones realizadas y del examen de las ontologías desarrolladas. En relación a este último aspecto, reseñar que las únicas ontologías públicamente disponibles son las desarrolladas por Ghebghoub et al.⁵ y por Sánchez-Alonso et al.⁶. A partir del análisis realizado (el cual se resume en la tabla 3.1) es posible extraer las siguientes conclusiones:

1. El único trabajo que contempla de manera explícita la creación de clases de aprendizaje que se organizan en jerarquías de generalización/especialización es el

⁵LOMOnto: <http://www.hds.utc.fr/mhabel/dokuwiki/doku.php?id=fr:pageonto>

⁶LOM2OWL: <http://www.cc.uah.es/ie/ontologies.html>

| | Taxonomía explícita de clases de objetos de aprendizaje | Relaciones taxonómicas entre objetos de aprendizaje | Def. de restricciones sobre los objetos de aprendizaje | Anotación semi automática de los objetos de aprendizaje | Contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje | Otros elementos semánticos | Detalles de implementación |
|-----------------------|---|--|--|---|--|---|---|
| Brase et al. | No | Vocabulario con inclusión de relaciones inversas y propiedades | Dominio, rango | A través del uso de las relaciones <i>has part</i> , <i>has version</i> y <i>has format</i> | No | Ontología para la clasificación de contenido | RFD(S), TRIPLE, no disponible. Tiene asociado el desarrollo del editor SHAME. |
| Doan et al. | En función de la estructura y tipos de objetos de aprendizaje | Vocabulario extendido e inclusión de relaciones inversas y propiedades | Dominio, rango, cardinalidad, gen/esp (disjunción) | A través del uso de la relación <i>has part</i> | No | Ontologías para la clasificación de contenido y la organización curricular | OWL, no disponible |
| Gheghghoub et al. | No | Vocabulario | Dominio, rango, cardinalidad, obligatoriedad | No | No | Ontología para palabras clave | OWL disponible |
| Sánchez-Alonso et al. | No | Vocabulario | Dominio, rango, cardinalidad | No | No | Ontología de conocimiento general, ontología de competencias y transformación de metadatos simples en agregados | OWL, disponible |

Tabla 3.1: Análisis de ontologías basadas en metadatos semánticos para la representación de objetos de aprendizaje

realizado por Doan et al., que distingue entre objetos de aprendizaje atómicos y compuestos. A partir de dichas clases se identifican nuevas subclases adaptadas a la tipología de recursos de aprendizaje contemplados en su institución. Esto no significa que otros trabajos no reconozcan la existencia de clases de objetos de aprendizaje, pero lo hacen de manera implícita, bien a través del valor que toman ciertos metadatos, bien a través de las relaciones no taxonómicas que se establecen entre los objetos de aprendizaje. Este sería el caso de los trabajos de Brase et al. y Sánchez-Alonso et al.

2. Todos los trabajos consideran la inclusión de relaciones no taxonómicas entre los objetos de aprendizaje, aunque en ninguno de ellos se contempla la posibilidad de proceder a su organización taxonómica (de manera similar al caso de las clases de objetos de aprendizaje). En el caso de los trabajos de Brase et al. y Doan et al. el vocabulario propuesto por LOM se enriquece (desde un punto de vista semántico) con la inclusión de relaciones inversas y otras propiedades (por ejemplo, la transitividad). Adicionalmente, en el caso de Doan et al. el vocabulario se extiende con nuevas relaciones.
3. Todos los trabajos definen restricciones de integridad que permiten fijar la semántica de los metadatos. Esta situación, de hecho, es inherente a la propia construcción de la ontología. Dependiendo del poder expresivo del lenguaje utilizado y de los elementos incorporados a la ontología se definen más o menos restricciones de integridad. Por ejemplo, este sería el caso de Doan et al. que contempla restricciones de integridad ligadas a las jerarquías de generalización/especialización.
4. En los trabajos de Brase et al. y de Doan et al. se explota la semántica asociada a ciertas relaciones y a ciertas clases de objetos de aprendizaje, como sería el caso de los objetos de aprendizaje compuestos (los cuales establecen relaciones *has part* con sus objetos de aprendizaje componentes) para derivar de manera automática el valor de ciertos metadatos. En Brase et al. estos mecanismos también se extienden a las relaciones *has version* (que permite reconocer la existencia de la clase de objetos de aprendizaje versionados) y *has format* (para representar objetos de aprendizaje que presentan el mismo contenido en diferentes formatos de representación). La derivación automática de metadatos en el caso de Brase et al. se realiza a través de reglas expresadas en el lenguaje TRIPLE que están incorporadas en el editor SHAME.

5. Ninguno de los trabajos examinados tratan los metadatos que permitirían identificar y representar los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. En el caso de Brase et al., esto se relaciona con la decisión de qué metadatos se incluyen en los registros de metadatos. La decisión tomada excluye la mayoría de los metadatos que permitirían caracterizar dichos contextos de uso educativo. A pesar de ello, y junto con el trabajo realizado por Sánchez-Alonso et al., se contempla la posibilidad de disponer diversos registros de metadatos asociados a un mismo objeto de aprendizaje con el propósito de ofrecer diferentes niveles de detalle en la descripción de los mismos. También es importante destacar que en el caso de Sánchez-Alonso et al. parcialmente se sugiere recopilar información relativa a los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, a través del uso de una ontología de competencias.
6. Finalmente, en relación a otros elementos contemplados, resaltar que la mayoría de trabajos apuntan el uso ontologías para la clasificación del contenido asociado de los objetos de aprendizaje. En el caso de Ghebghoub et al. esta ontología (actualmente en desarrollo) se pretende usar para la definición de palabras clave (metadato 1.5 *Keyword* de la categoría 1. *General*), mientras que el resto de trabajos proponen utilizar para tal efecto la categoría 9. *Classification*. Finalmente, en el caso de Sánchez-Alonso et al., también se sugiere el uso de ontologías de conocimiento general para expresar el rango de valores de ciertos metadatos o para hacer explícita semántica que en permanece oculta en ciertos metadatos de LOM (esta situación sería la de metadatos como 1.6 *Coverage* o 5.7 *Typical age range* pertenecientes, respectivamente, a las categorías 1. *General* y 5. *Educational*), y se relaciona (de acuerdo a lo presentado en la tabla 3.1) con la transformación de metadatos simples en agregados.

3.4. Beneficios del uso de ontologías de conocimiento general

En este trabajo de tesis se aboga por el uso de ontologías de conocimiento general como esqueleto que guíe la construcción de una ontología que permita la representación de los objetos de aprendizaje. De acuerdo a lo presentado en el capítulo 2, estas ontologías describen conceptos muy generales, independientes de cualquier problema o dominio particular. Adicionalmente estas ontologías también acostumbran a incorpo-

rar diferentes ontologías de dominio (derivadas a partir del conocimiento más general que incorporan), las cuales describen el vocabulario genérico relativo a cada uno de los dominios representados.

El empleo de ontologías de conocimiento general, también ha sido la opción elegida por otros autores como sería el caso Sánchez-Alonso et al. y de Lemnitzer et al. (Lemnitzer et al. 2007, Monachesi et al. 2008). En la propuesta de Sánchez-Alonso et al., como ya se ha presentado, se sugiere el uso de ontologías de conocimiento general (en concreto OpenCyc) como espacio de valores para algunos de los metadatos contemplados por LOM. Por su parte, en la propuesta de Lemnitzer et al., la ontología de conocimiento general –en este caso se trata de DOLCE (Masolo et al. 2002)– se utiliza para tratar aspectos relacionados con la existencia de objetos de aprendizaje disponibles en diferentes idiomas.

Las ontologías de conocimiento general constituyen el resultado del esfuerzo de equipos de desarrollo en el que intervienen personas con diferentes perfiles profesionales (como serían, por ejemplo, personas expertas en el dominio (o dominios) a representar, expertos en modelización conceptual y en diferentes áreas de la inteligencia artificial, programadores etc.). Por ello su uso, en relación a acometer el desarrollo de una ontología desde cero y de manera independiente quizá sin los medios humanos apropiados, aporta una serie de beneficios, los cuales se indican a continuación:

- Permiten reutilizar el conocimiento disponible en estas ontologías, facilitando el desarrollo de la nueva ontología. En esencia, la reutilización de dicho conocimiento se realiza a través de la definición de diferentes relaciones, como sería el caso de correspondencias de equivalencia (los conceptos presentes en la ontología a desarrollar que también se encuentran representados en la ontología de conocimiento general) y de subsunción (por ejemplo, los conceptos presentes en la ontología a desarrollar quedan generalizados en conceptos existentes en la ontología de conocimiento general).
- Ayudan a verificar la consistencia y validez de la ontología desarrollada permitiendo, por ejemplo, garantizar la correcta organización de los conceptos representados a través de jerarquías de generalización/especialización.

- Permiten garantizar la correcta cobertura del dominio de interés que se desea representar en la ontología ayudando, por ejemplo, a detectar conceptos relevantes que quizá inicialmente no se habían tenido en cuenta.
- Ayudan a establecer un marco común al que se puedan acoger, con el propósito de proceder a su integración, diferentes ontologías desarrolladas de manera independiente. Tal y como se ha presentado en la sección 3.3 e incluso al final del capítulo 2, existen múltiples propuestas de ontologías que tienen como objetivo facilitar la representación de los objetos de aprendizaje. Dado que la conceptualización de una realidad no es única, estas ontologías pueden presentar diferencias significativas entre sí. Esto introduce heterogeneidades semánticas –ampliamente estudiadas en otras áreas de la informática, como sería el caso, por ejemplo, de la integración de bases de datos (Sheth & Larson 1990)–, hecho que puede comprometer seriamente la interoperabilidad.

A pesar de los beneficios reseñados, es importante destacar que el principal problema asociado a las ontologías de conocimiento general se relaciona con su usabilidad (Conesa et al. 2010). Estas ontologías recogen un amplio abanico de conceptos (clases, diferentes tipos de relaciones, axiomas etc.), los cuales se tienen que organizar con vistas a facilitar su búsqueda, examen y selección. Acometer esta organización no es en absoluto una tarea sencilla y, en general, los primeros contactos con las ontologías de conocimiento general son difíciles e incluso frustrantes, aunque el esfuerzo se pueda ver recompensado con posterioridad.

En la actualidad hay disponibles varias ontologías de conocimiento general. En la literatura es posible encontrar diferentes análisis que permiten evaluar y comparar dichas ontologías (Semy et al. 2004, Mascardi et al. 2006, Oberle et al. 2007). En este trabajo de tesis, la elección de la ontología de conocimiento general a utilizar se realiza en base a los siguientes criterios:

1. Tiene que haber sido construida sobre una base rigurosa y debe contener suficiente conocimiento relativo al dominio de interés, que es el de la representación de los objetos de aprendizaje.
2. Debe tener asociadas ontologías de dominio construidas sobre una base modular que permita agrupar y segregar conocimiento de un dominio de interés.

3. Tiene que estar representada en un lenguaje formal apropiado. Idealmente el conocimiento representado también tendría que estar disponible en OWL dada la posición predominante de este lenguaje en el ámbito de la Web semántica.
4. Tiene que existir soporte por parte de los responsables de la construcción de la ontología. En definitiva, la ontología tiene que estar respaldada por un proyecto en activo, que cuente con equipos de desarrollo que mejoren y amplíen la ontología.

Las ontologías de conocimiento general que mejor se ajustan a las características previas son SUMO (Niles & Pease 2001) y Cyc (Lenat 1995), a pesar que Cyc tiene la desventaja de tratarse de un producto comercial. Esta situación se puede solventar a través de ResearchCyc (un programa que permite disfrutar de licencias gratuitas a efectos de investigación) o través de OpenCyc, la versión de código fuente abierto de Cyc. OpenCyc, en comparación a SUMO, recoge una mayor cantidad de conocimiento susceptible de ser reutilizado para la representación los objetos de aprendizaje y, además, posee capacidades que permiten extraer y explotar dicho conocimiento de manera eficiente. Por todos estos motivos, la ontología de conocimiento general que se utilizará en este trabajo de tesis es OpenCyc.

Capítulo 4

Marco conceptual para los objetos de aprendizaje

*Con las buenas ideas, y a veces también con las malas, pasa lo mismo
que con los átomos de Demócrito o con las cerezas de la cesta, vienen
enganchadas unas a otras.*

El viaje del elefante, José Saramago

En este capítulo se propone un modelo conceptual para los objetos de aprendizaje, esto es, un modelo que recoge, explicita, y en algunos casos extiende, el conocimiento relevante sobre los objetos de aprendizaje, omitiendo los detalles de su implementación. Este conocimiento se basa principalmente en el esquema propuesto por el estándar LOM (LOM 2002).

El objetivo último es mejorar la expresividad semántica de las descripciones de los objetos de aprendizaje, reduciendo la ambigüedad en las mismas. Esta mejora redundará en una descripción más significativa, a la vez que consistente, de los objetos de aprendizaje. La descripción quedaría recogida en los registros de metadatos que se asocian a los objetos de aprendizaje, y podría ser usada para mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje, de acuerdo a lo presentado en el capítulo 3. Adicionalmente el modelo conceptual propuesto se apoya, a efectos de garantizar su validez, en el uso de ontologías de propósito general, más concretamente OpenCyc. El modelo conceptual propuesto incluye:

- La revisión del concepto de objeto de aprendizaje y la organización de los objetos de aprendizaje en clases. Las clases sirven para representar conjuntos de obje-

tos de aprendizaje que tienen propiedades comunes. El conjunto de propiedades (metadatos en términos de especificaciones como LOM o Dublin Core) comunes constituye la intensión de la clase, en contraposición a su extensión que recoge el conjunto de objetos de aprendizaje que pertenecen a la clase (Olivé 2007). La intensión de cada clase se recoge mediante un registro de metadatos que se asocia a cada uno de los objetos de aprendizaje que conforman la extensión de la clase. Los aspectos relativos a este punto se abordan en las secciones 4.1, 4.2 y 4.4.

- Relaciones entre clases de objetos de aprendizaje. El modelo distingue entre relaciones taxonómicas (o relaciones de generalización/especialización, denotadas en el capítulo de manera simplificada como relaciones de especialización) y relaciones no taxonómicas. Las relaciones taxonómicas sirven para organizar, de acuerdo a diferentes criterios, las clases de objetos de aprendizaje, y se tratan en la sección 4.2. Por su parte, las relaciones no taxonómicas (las cuales se presentan en la sección 4.3) establecen interrelaciones de naturaleza diversa, en general binarias, entre los objetos de aprendizaje que pertenecen a las diferentes clases.
- Una taxonomía de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. Por una parte, la taxonomía tiene en cuenta las características específicas de ciertas clases de objetos de aprendizaje, de acuerdo a lo presentado en la sección 4.2. Por otra parte, la taxonomía permite representar los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, a través de registros de metadatos diferenciados, los cuales separan las propiedades que caracterizan el contexto de uso educativo de cada objeto de aprendizaje, de aquéllas que se van a mantener invariables, sea cual sea el contexto de uso educativo de cada objeto de aprendizaje. Las cuestiones relativas a la representación de los contextos de uso de los objetos de aprendizaje serán abordadas en la sección 4.5.
- Restricciones de integridad (o aserciones o axiomas) que especifican las condiciones que se deben cumplir para garantizar una descripción consistente y significativa desde un punto de vista semántico de los objetos de aprendizaje, de acuerdo a los elementos previamente enunciados. La definición de las diferentes restricciones de integridad quedan distribuidas a lo largo de las secciones del capítulo.

Para finalizar, es importante destacar que el modelo conceptual también propone la inclusión obligatoria de ciertos metadatos (y en consecuencia las categorías dónde éstos están incluidos) en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje.

En beneficio de la generalidad, se trata de una propuesta de mínimos, sujeta a posibles ampliaciones cuando se acomete el diseño de perfiles de aplicación (Duval et al. 2002) ajustados a las necesidades de una organización concreta.

4.1. Concepto de objeto de aprendizaje

Como ya se ha presentado en el capítulo 2 el concepto de objeto de aprendizaje ha sido ampliamente discutido en la literatura, desde su aparición hasta su adopción masiva. Han habido esfuerzos para delimitar y restringir el significado y el alcance del concepto de objeto de aprendizaje. Como consecuencia, se han propuesto diversas definiciones las cuales, como ya se ha discutido en el capítulo 2, presentan una serie de limitaciones. Dichas limitaciones pueden causar problemas en la gestión de los objetos de aprendizaje, y se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Las definiciones ocultan la posibilidad que un mismo contenido didáctico pueda estar disponible en diferentes formatos de representación final. Los objetos de aprendizaje que tienen contenido idéntico, pero expresado en diferentes formatos de representación, van a compartir valor para buena parte de los metadatos que los describen. Además, saber que un mismo contenido está disponible en diferentes formatos, puede ser un factor a tener en cuenta a la hora de buscar y seleccionar objetos de aprendizaje según las necesidades o deseos de los usuarios.
2. Las definiciones no contemplan de manera explícita que puedan existir diferentes tipos (o clases) de objetos de aprendizaje. Los objetos de aprendizaje pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios. Cada clase de objetos de aprendizaje puede definir diferentes metadatos de interés, así como las restricciones de integridad que deben cumplir los objetos de aprendizaje por el hecho de pertenecer a una determinada clase. Adicionalmente, la organización taxonómica de las diferentes clases de objetos de aprendizaje puede mejorar los procesos de búsqueda y selección de los mismos.
3. Las definiciones atribuyen características (por ejemplo el hecho que son autocontenidos e independientes) a los objetos de aprendizaje que, a efectos prácticos, son de difícil cumplimiento. Si bien es deseable que tales características se cumplan, hay que prever mecanismos que permitan solventar los problemas que se deriven de su incumplimiento.

4. Las definiciones, salvo excepciones, no enfatizan el potencial de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje en la automatización (total o parcial) de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje.

Con el objetivo de solventar tales limitaciones, en este trabajo de tesis se propone una definición propia del concepto de objeto de aprendizaje. Esta definición, que también ha sido explicada en el capítulo 2, se vuelve a recordar a continuación:

Unidad didáctica para la que existen disponibles una o más representaciones en formato digital, predispuesta para su reutilización en diversos contextos de uso educativo mediante la inclusión de información autodescriptiva y relevante en función de su tipología en forma de metadatos estandarizados específicamente orientados a la automatización de procesos de gestión.

4.2. Clases de objetos de aprendizaje

Ni el estándar LOM, ni tampoco otras especificaciones afines, incluyen de manera explícita la noción de clase (o tipo) de objeto de aprendizaje. A pesar de ello es importante destacar que una lectura, por ejemplo de LOM, permite claramente deducir que los objetos de aprendizaje se pueden organizar en jerarquías de especialización de acuerdo a diferentes criterios.

Una de las consecuencias de este hecho es que todos los metadatos propuestos por LOM son potencialmente aplicables a cualquier objeto de aprendizaje, independientemente de su clase, de tal manera que se delega en las instituciones (o usuarios) la elección del conjunto de metadatos de interés y la consistencia de los valores asignados a dichos metadatos. Esta flexibilidad puede causar: diferencias en la interpretación de los metadatos; registros de metadatos con valores inconsistentes; dificultades para discernir qué metadatos son aplicables (o lo que es más importante, cuáles no son aplicables) a cada clase de objetos de aprendizaje; dificultades en la detección de metadatos relevantes y ausentes en LOM para una determinada clase de objetos de aprendizaje; y, finalmente, que semántica relevante quede oculta y diseminada en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje.

Como ya se ha mencionado, a partir de los propios metadatos propuestos por LOM, es posible distinguir diferentes clases de objetos de aprendizaje, las cuales se pueden

organizar en jerarquías de especialización. Por ejemplo, atendiendo a características generales de los objetos de aprendizaje (categoría 1. *General* de LOM), es posible distinguir entre diferentes clases de objetos de aprendizaje en función de su estructuración interna (metadato 1.7 *Structure*) y de su granularidad (metadato 1.8 *Aggregation level*). De manera similar, y atendiendo a las características educativas de los objetos de aprendizaje (categoría 5. *Educational* de LOM), es posible distinguir clases de objetos de aprendizaje en función del modo de aprendizaje promovido por el objeto de aprendizaje (metadato 5.1 *Interactivity type*) y el tipo de recurso de aprendizaje bajo consideración (metadato 5.2 *Learning resource type*). Otra distinción interesante puede ser realizada desde un punto de vista conceptual. Cuando se desarrollan objetos de aprendizaje se puede distinguir, al menos, entre el objeto de aprendizaje entendido como creación intelectual y las diferentes representaciones que se ofrecen de la misma, esto es, las diferentes concreciones (o materializaciones) físicas disponibles en formato digital de esa creación intelectual. Cada una de ellas, así como cada una de sus concreciones digitales disponibles, son objetos de aprendizaje diferentes aunque relacionados.

Tratar la noción de clase de objeto de aprendizaje como elemento para la estructuración de los metadatos propuestos por LOM aporta diferentes beneficios. Por un lado, contribuye a una descripción más significativa (desde un punto de vista semántico) de los objetos de aprendizaje, posibilitando la creación de registros de metadatos diferenciados (y con valores consistentes) para cada clase de objetos de aprendizaje y contribuyendo a reflexionar sobre la propia naturaleza de un objeto de aprendizaje concreto y sobre su idoneidad en un determinado contexto educativo. Por otro lado, la noción de clase de objeto de aprendizaje puede facilitar la búsqueda de objetos de aprendizaje en repositorios, dado que puede ser usado para restringir (o ampliar, dependiendo de las necesidades) el espacio de búsqueda. Finalmente, también puede ayudar a la creación de nuevos objetos de aprendizaje a partir de otros o como un elemento más de cara a facilitar la personalización del proceso de aprendizaje.

A pesar de los beneficios descritos, es importante destacar que el concepto clase de objeto de aprendizaje y sus posibles especializaciones deben tratarse fuera del ámbito de LOM, en las aplicaciones que gestionan objetos de aprendizaje, dado que LOM ha sido concebido para describir instancias de objetos de aprendizaje. Aunque LOM incorpora la categoría 7. *Relation*, ésta está pensada para definir asociaciones entre objetos

de aprendizaje. Ni la relación de clasificación (que permitiría especificar que un determinado objeto de aprendizaje es instancia de una clase de objetos de aprendizaje), ni la relación de especialización (que permitiría especificar que una clase de objetos de aprendizaje es subclase de otra clase de objetos de aprendizaje) son relaciones a nivel de instancia. En todo caso, la descripción de estas relaciones (así como otros elementos) se deberían realizar dentro del ámbito de un metamodelo asociado a LOM.

En las subsecciones que vienen a continuación se muestran las diferentes clases de objetos de aprendizaje y su organización en jerarquías de especialización. Asimismo se discuten e ilustran mediante ejemplos los beneficios que de ellas se esperan conseguir.

4.2.1. Objetos de aprendizaje conceptuales y sus concreciones

Esta primera especialización de objetos de aprendizaje (véase la figura 4.1) distingue entre objetos de aprendizaje entendidos como creación intelectual y los objetos de aprendizaje que constituyen las concreciones (o representaciones finales) de dicha creación intelectual. Además, también hace explícito el hecho que es posible derivar nuevos objetos de aprendizaje.

La especialización facilita la realización de tareas de control y auditoría de los objetos de aprendizaje, a la vez que permite registrar la evolución de los objetos de aprendizaje. Estas tareas son especialmente relevantes en el caso de repositorios institucionales. Además también permite gestionar objetos de aprendizaje en entornos de aprendizaje multilingües, y/o con objetos de aprendizaje que pueden tener asociados diferentes formatos de representación final. Otros dominios de aplicación también han detectado la necesidad de distinguir entre creaciones intelectuales (y sus posibles obras derivadas), y sus concreciones. Por ejemplo, en Iglesias et al. (2009) se presenta una discusión sobre las limitaciones de los esquemas de metadatos (en este caso, un perfil de aplicación basado en Dublin Core) para la descripción de recursos musicales y la necesidad de su estructuración de acuerdo a un marco conceptual orientado a objetos.

A un primer nivel (véase la figura 4.1), es posible distinguir entre objetos de aprendizaje conceptuales (el objeto de aprendizaje abstracto consecuencia de una creación intelectual, que tiene únicamente existencia temporal) y los objetos de aprendizaje que constituyen las concreciones de dicho objeto de aprendizaje conceptual (además de

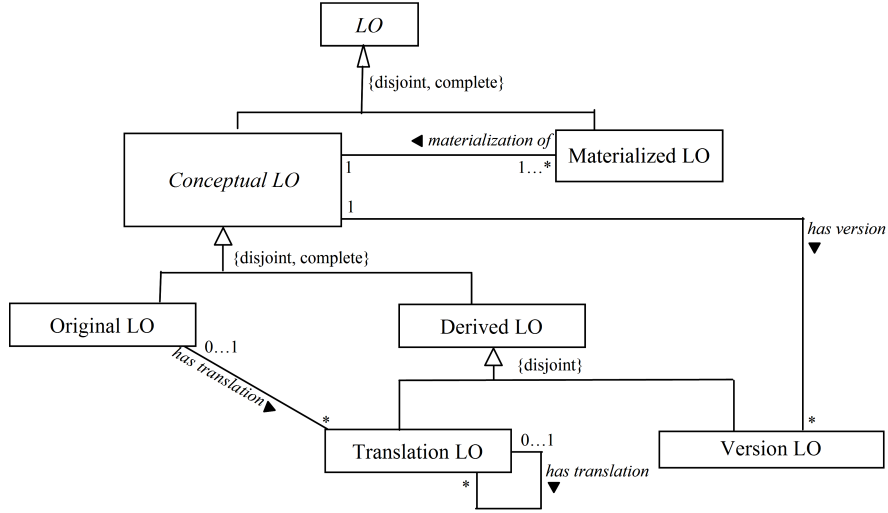


Figura 4.1: Especialización de los objetos de aprendizaje según su nivel de abstracción

existencia temporal también tienen existencia espacial, específicamente existencia digital). Un objeto de aprendizaje conceptual se relaciona con sus concreciones a través de la relación *materialized by* (esta relación, es la relación inversa de *materialization of*). Los objetos de aprendizaje conceptuales pertenecen a la clase *Conceptual LO*, mientras que los objetos de aprendizaje concreción pertenecen a la clase *Materialized LO*.

A su vez, la clase *Conceptual LO* se especializa en nuevas subclases que permiten distinguir entre objetos de aprendizaje originales (subclase *Original LO*, véase la figura 4.1) y objetos de aprendizaje derivados (subclase *Derived LO* en la figura 4.1). En este trabajo de tesis, al menos, interesa distinguir entre dos tipos diferentes de objetos de aprendizaje derivados, aquéllos que se obtienen como consecuencia de un proceso de traducción, y aquéllos que se obtienen a través de un proceso de evolución de versiones. Mientras que los objetos de aprendizaje traducción pertenecen a la clase *Translation LO*, los objetos de aprendizaje versión pertenecen a la clase *Version LO*.

Las relaciones que se establecen entre un objeto de aprendizaje (original o derivado) y sus derivados son, para objetos de aprendizaje traducción, *has translation* (o su relación inversa *is translation of*) y, para objetos de aprendizaje versionados, *has version* (o su relación inversa *is version of*). Las relaciones *has translation* y *has version* son relaciones subtipo de una relación más genérica (la relación *source pattern for*) y serán tratadas con posterioridad en la sección 4.3. Además la especialización es disjunta, es decir, el objeto de aprendizaje se deriva como consecuencia de una traducción o como

consecuencia de un proceso de evolución de versiones, pero no como consecuencia de aplicar simultáneamente ambos procesos.

La figura 4.1 muestra que es posible crear versiones de objetos de aprendizaje a partir de objetos de aprendizaje originales y objetos de aprendizaje derivados. Por su parte, la traducción de un objeto de aprendizaje se realiza a partir de otro que puede ser original o traducción. En la subsección 4.3.4, se presentarán las restricciones de integridad que regulan la creación de obras derivadas traducción y versión.

Es importante destacar que los objetos de aprendizaje derivados traducción y versión conservan el contenido esencial (y en consecuencia gran parte de las propiedades) asociadas al objeto de aprendizaje a partir del cual han sido creados y, por lo tanto, se corresponden con ediciones de una misma creación intelectual. En el caso de objetos de aprendizaje traducción, puede ser necesario recoger la aportación intelectual de la persona responsable de la traducción, si ésta no se realiza de manera automática mediante algún software especializado. Esta información se puede registrar mediante los metadatos de LOM de la categoría 2 *Life Cycle* que permiten representar las contribuciones que diferentes personas u organizaciones realizan sobre un objeto de aprendizaje a lo largo de su ciclo de vida.

En OpenCyc no existen clases que tengan una correspondencia exacta con las presentadas en esta especialización, aunque si existen algunas clases relacionadas. Más concretamente, las clases *LO*, *Conceptual LO* y *Materialized LO* serían, respectivamente, subclases de **Thing**¹ (esta clase en OpenCyc representa la clase universal que recoge como instancias todos los elementos definidos en la ontología), **ConceptualWork** e **InformationBearingThing**. Por su parte, la clase de OpenCyc **VersionedSoftwareObject** sería superclase del conjunto de instancias de la clase *Version LO* (dicho conjunto daría lugar a una subclase que no se muestra en la figura 4.1) de naturaleza software para las cuales se han creado versiones, y que serían susceptibles de ser consideradas objetos de aprendizaje en entornos de enseñanza-aprendizaje vinculados a las TIC.

¹Los conceptos pertenecientes a OpenCyc relevantes para este trabajo de tesis aparecen en el texto con fuente de letra **Courier**. Asimismo, en el apéndice A, se muestran las definiciones que proporciona OpenCyc para estos conceptos.

Las restricciones de integridad asociadas a la especialización propuesta son:

- RI1. La especialización de los objetos de aprendizaje en objetos de aprendizaje conceptuales y concreción es disjunta y total. Es decir, o un objeto de aprendizaje es conceptual o concreción, pero no ambas cosas a la vez. Tampoco existen objetos de aprendizaje que no pertenezcan a una de las dos categorías.
- RI2. La especialización de los objetos de aprendizaje conceptuales en objetos de aprendizaje originales y objetos de aprendizaje derivados es disjunta y total. Es decir, o un objeto de aprendizaje es original o derivado, pero no ambas cosas a la vez. Tampoco existen objetos de aprendizaje conceptuales que no pertenezcan a una de las dos categorías.
- RI3. La especialización de los objetos de aprendizaje derivados es disjunta. Es decir, un objeto de aprendizaje derivado traducción no puede ser simultáneamente un objeto de aprendizaje versionado, ni a la inversa.
- RI4. Todo objeto de aprendizaje conceptual tiene que tener asociado al menos un objeto de aprendizaje concreción, y todo objeto de aprendizaje concreción materializa un objeto de aprendizaje conceptual. La asociación entre un objeto de aprendizaje conceptual y cada uno de sus objetos de aprendizaje concreción se establece por medio de la relación *materialized by* (esta relación es la inversa a la relación *materialization of*).
- RI5. Todo objeto de aprendizaje conceptual que tenga asociado objetos de aprendizaje derivados define las relaciones correspondientes. En el caso de objetos de aprendizaje traducción la relación a utilizar será la relación *has translation*. En el caso de objetos de aprendizaje versionados se utilizará la relación *has version*.

Para finalizar, y a modo de ejemplo, se presenta el caso de una institución que ofrece oferta formativa en un entorno multilingüe como sería la Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Se sabe que existe un objeto de aprendizaje inicialmente concebido en lengua española que trata los conceptos fundamentales asociados al modelo relacional de bases de datos (el objeto de aprendizaje se denota de manera simplificada como FMR_ESP). Para este objeto de aprendizaje, la UOC ofrece dos representaciones finales, una en formato textual (por ejemplo un archivo en pdf, FMR_ESP.PDF) y otra en formato audio (por ejemplo un archivo MP3, FMR_ESP.MP3) que recoge de manera

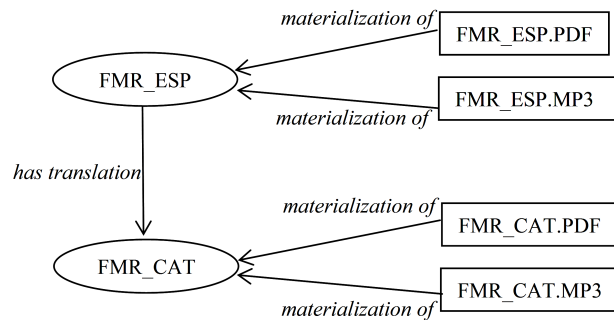


Figura 4.2: Ejemplo de objetos de aprendizaje según su nivel de abstracción

íntegra el contenido asociado al formato textual. Además, también existe el objeto de aprendizaje equivalente en lengua catalana (denotado como FMR_CAT y derivado a partir del de lengua española), y de manera similar, también se ofrece en los mismos formatos de representación final (denotados, respectivamente, como FMR_CAT.PDF y FMR_CAT.MP3) que el objeto de aprendizaje en lengua española. Teniendo en cuenta la situación descrita (también mostrada en la figura 4.2):

- FMR_ESP y FMR_CAT son objetos de aprendizaje conceptuales (en la figura 4.2 se muestran en elipses). Más específicamente, FMR_ESP es el objeto de aprendizaje original, mientras que FMR_CAT es un objeto de aprendizaje derivado obtenido como consecuencia de un proceso de traducción.
- Los objetos de aprendizaje FMR_ESP.PDF, FMR_ESP.MP3, FMR_CAT.PDF y FMR_CAT.MP3 son objetos de aprendizaje concreción. Estos objetos de aprendizaje en la figura 4.2 se muestran en rectángulos.
- El objeto de aprendizaje conceptual original FMR_ESP se asocia con su objeto de aprendizaje derivado traducción FMR_CAT mediante la relación *has translation*.
- Los objetos de aprendizaje concreción FMR_ESP.PDF y FMR_ESP.MP3 son materializaciones del objeto de aprendizaje conceptual en español FMR_ESP. Esta información se recoge a través de la relación *materialization of*. De manera análoga, objetos de aprendizaje concreción FMR_CAT.PDF y FMR_CAT.MP3 materializan el objeto de aprendizaje conceptual derivado en catalán FMR_CAT.

Es importante destacar que se habría podido proponer un ejemplo similar en el caso de objetos de aprendizaje de naturaleza software. Asumiendo que existe un objeto de

aprendizaje conceptual original software destinado a que los estudiantes puedan resolver consultas sobre bases de datos relacionales usando álgebra relacional, sus diferentes representaciones finales (por ejemplo, dependiendo del sistema operativo) serían los objetos de aprendizaje concreción. Las nuevas versiones que se desarrollen, por ejemplo, a partir del objeto conceptual inicialmente desarrollado o a partir de un objeto de aprendizaje versión previo, por su parte, serían objetos de aprendizaje versión y también pertenecerían a la clase de OpenCyc `VersionedSoftwareObject`. La colección de objetos de aprendizaje conceptuales (original y versiones) que resulten del proceso de evolución de versiones estarán asociados a través de la relación *has version*.

4.2.2. Objetos de aprendizaje atómicos y compuestos

Esta segunda especialización de objetos de aprendizaje (véase la figura 4.3) permite diferenciar entre objetos de aprendizaje atómicos y compuestos. Adicionalmente, en el caso de objetos de aprendizaje compuestos, se distingue entre las diferentes estructuras organizativas internas contempladas por LOM. El metadato de LOM que trata estas características es el metadato 1.7 *Structure* que, a su vez, está relacionado con el metadato 1.8 *Aggregation level*, tal y como se pondrá de manifiesto en la subsección 4.4.1. Ambos metadatos pertenecen a la categoría 1. *General*.

Esta especialización es ortogonal a la especialización previamente presentada. Además, la especialización ayuda a tratar los problemas de ambigüedad presentes en LOM en relación al significado de las estructuras organizativas internas de los objetos de aprendizaje compuestos, a la vez que permite reflexionar sobre las relaciones relevantes que es necesario considerar para trabajar con objetos de aprendizaje compuestos.

En la tabla 4.1 se muestran las definiciones propuestas por LOM para cada una de las estructuras organizativas internas contempladas. Las definiciones presentan ambigüedades, debidas a la falta de precisión y a la ausencia de elementos relevantes que hay que tomar en consideración. A continuación se presentan dichas ambigüedades y las decisiones tomadas en este trabajo de tesis para su resolución, las cuales también se resumen en la tabla 4.2.

En primer lugar (ambigüedad A1), no está claro si los objetos de aprendizaje compuestos pueden incorporar contenido propio, o si surgen como la suma (o si se prefiere, el empaquetado) de los objetos de aprendizaje que los conforman. En principio, atendien-

| Estructura Organizativa | Definición |
|--------------------------------|---|
| <i>Atomic</i> | Un objeto de aprendizaje que es indivisible. |
| <i>Collection</i> | Conjunto de objetos de aprendizaje sin ninguna relación específica entre ellos. |
| <i>Networked</i> | Conjunto de objetos de aprendizaje con una relación entre ellos que puede no estar especificada. |
| <i>Hierarchical</i> | Conjunto de objetos de aprendizaje cuya relación puede ser representada por medio de una estructura de árbol. |
| <i>Linear</i> | Conjunto de objetos de aprendizaje completamente ordenados. Un conjunto de objetos de aprendizaje que están conectados por las relaciones <i>previous</i> y <i>next</i> . |

Tabla 4.1: Definición de LOM de las estructuras organizativas internas de los objetos de aprendizaje

do a los ejemplos que LOM presenta y el dominio de uso de los objetos de aprendizaje, parece razonable concluir que los objetos de aprendizaje compuestos surgen como la suma y organización de los objetos de aprendizaje que lo conforman, y por tanto, ésta será la asunción que se realiza en este trabajo de tesis.

En segundo lugar, tampoco está claro los tipos genéricos de objetos de aprendizaje compuestos que se contemplan (ambigüedad A2). Una primera lectura de LOM sugiere que los objetos de aprendizaje que conforman un objeto de aprendizaje compuesto son miembros del objeto de aprendizaje compuesto, de tal manera que el objeto de aprendizaje compuesto es una agrupación (por ejemplo, una colección o un conjunto) de objetos de aprendizaje, ya sea un grupo homogéneo de objetos de aprendizaje (grupo de objetos de aprendizaje de un mismo tipo) o heterogéneo (grupo de objetos de aprendizaje de diferentes tipos). Ésta no es la única forma de componer objetos de aprendizaje compuestos. Por ejemplo, un objeto de aprendizaje compuesto también se puede formar a través de la agregación o la composición –Martin & Odell (1995), Olivé (2007)– de otros objetos de aprendizaje.

Si bien hay similitudes entre las diferentes maneras de componer objetos compuestos, también hay diferencias significativas. En la creación de objetos de aprendizaje compuestos por agrupación, cada objeto de aprendizaje que lo conforma, en general, ejecuta una misma función dentro del objeto de aprendizaje compuesto del que es

miembro. En cambio, en la agregación (y también en la composición) cada objeto de aprendizaje que se agrega en el objeto de aprendizaje compuesto, acostumbra a tener asignada una función diferente.

De manera similar, en el caso de que un objeto de aprendizaje compuesto se forme por agrupación, los objetos de aprendizaje que incluye siempre tienen existencia propia al margen del grupo, es decir, son independientes de los objetos de aprendizaje compuestos, y además se pueden componer en diferentes objetos de aprendizaje compuestos. En el caso de la agregación esto también es así, pero no es cierto para la composición. La creación de objetos de aprendizaje por composición (que es un caso particular de la agregación), impone que cada objeto de aprendizaje que se compone en un objeto de aprendizaje compuesto forme parte, a lo sumo, de un único objeto de aprendizaje compuesto al mismo tiempo.

Dado que uno de los objetivos de los objetos de aprendizaje es que sean reutilizados (para ser usados tal cual están o para crear nuevos objetos de aprendizaje) parece razonable pensar que los objetos de aprendizaje compuestos, mayoritariamente, serán agrupaciones o agregaciones de otros objetos de aprendizaje. Sea cual sea la situación, las definiciones de LOM deberían capturar los diferentes tipos genéricos de objetos de aprendizaje compuestos que se acaban de presentar y no restringirse, como aparentemente se sugiere, a objetos de aprendizaje compuestos por agrupación.

En tercer lugar, las relaciones relevantes para crear objetos compuestos permanecen ocultas (ambigüedad A3). La única relación, entre el conjunto que propone LOM en la categoría 7. *Relation*, que posibilita la creación de objetos de aprendizaje compuestos, es la relación genérica *is part of* (o alternativamente, su relación inversa *has part*).

En cuarto lugar (ambigüedad A4), algunos tipos de objetos de aprendizaje compuestos se estructuran en base a relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje que conforman el objeto de aprendizaje compuesto. Una lectura detenida de LOM sugiere que las relaciones a considerar son aquéllas que permiten organizar el conjunto de objetos de aprendizaje que conforman el objeto de aprendizaje compuesto desde un punto de vista retórico, es decir, las relaciones que permiten expresar una distribución y ordenación coherente de los contenidos asociados a los objetos de aprendizaje cuando éstos forman parte del objeto de aprendizaje compuesto. Una relación genérica para

realizar esta distribución y ordenación sería una relación retórica de precedencia. La relación *previous* (y su relación inversa *next*) propuesta por LOM en la definición de la estructura *Linear* sería una relación apropiada. Esta relación, ni su inversa, ni ninguna otra relación adecuada a tal efecto, están incluidas en el conjunto de relaciones propuestas en la categoría 7. *Relation*. La relación retórica de precedencia *previous* (así como su relación inversa *next*) constituye una relación de orden. Dado el contexto de aplicación de los objetos de aprendizaje, esta relación de orden puede ser vista como una relación de orden estricto. Asimismo, la relación *previous* (y su relación inversa *next*) también podría ser aplicable, atendiendo a las definiciones proporcionadas por LOM (véase la tabla 4.1), a los objetos de aprendizaje compuestos *Networked* y *Hierarchical*.

Es importante destacar que el uso de relaciones que permiten expresar una distribución de los contenidos de los objetos de aprendizaje que conforman los objetos de aprendizaje compuestos, están sujetos a una cierta controversia. Es más, esta controversia también se extiende al desarrollo de objetos compuestos. Como principales razones, en Friesen (2004a) se argumenta que la creación de objetos de aprendizaje compuestos (y en consecuencia el uso de los metadatos 1.7 *Structure* y 1.8 *Aggregation level*) refleja la naturaleza de un objeto de aprendizaje entendido como un elemento software en lugar de un elemento de contenido educativo. Además, existen otras especificaciones que permiten contextualizar, a diferentes niveles de complejidad, el uso de los objetos de aprendizaje en una determinada experiencia educativa. En consecuencia, otros autores –por ejemplo, Yahya & Yussoff (2008)– sugieren tratar todos estos aspectos dentro del ámbito del diseño instruccional.

A efectos de este trabajo de tesis, se considera que es necesario alcanzar una posición de consenso. LOM permite que los usuarios puedan describir objetos de aprendizaje de diferentes niveles de complejidad y con diferentes estructuras organizativas internas, las cuales parcialmente reflejan la intención de los creadores de los objetos de aprendizaje. Adicionalmente, el uso de objetos de aprendizaje de granularidad pequeña como bloque básico de construcción, puede promover la creación de objetos de aprendizaje compuestos. Para mejorar la reutilización y la creación de nuevos objetos de aprendizaje a partir de otros objetos de aprendizaje, sus estructuras organizativas internas y las relaciones que entre ellos se pudieran establecer, deberían poder ser representadas y, en consecuencia, reconocidas. Por ello, en este trabajo de tesis, para definir las posibles relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje que conforman los objetos

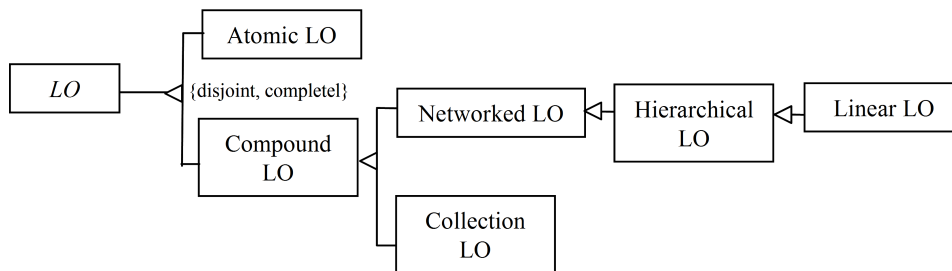


Figura 4.3: Primera propuesta de especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su estructura organizativa interna

de aprendizaje compuestos, se propone el uso de la relación *previous* (o su relación inversa *next*), dado que es la única relación sugerida por LOM a tal efecto. Esta relación, tal y como se ha explicado con anterioridad, permite ordenar desde un punto de vista retórico (esto es, desde un punto de vista de ordenación de contenidos) los objetos de aprendizaje que conforman cada posible objeto de aprendizaje compuesto. El uso de otras relaciones de orden –por ejemplo, las propuestas en Fischer (2001)– que permitan tratar aspectos como la secuenciación de contenidos y actividades, debidamente contextualizadas dentro de una experiencia educativa, quedan descartadas en este trabajo de tesis y se deberían definir con otras especificaciones diseñadas a tal efecto (por ejemplo, IMS LD).

Siguiendo con el análisis de las ambigüedades, en quinto lugar, la definición asociada a la estructura organizativa interna *Networked* es imprecisa y, en consecuencia, poco operativa (ambigüedad A5). La causa del problema radica en el hecho que, para la estructuración *Networked*, LOM permite que las relaciones retóricas de distribución y ordenación de los objetos de aprendizaje que conforman el objeto de aprendizaje compuesto no estén especificadas. Este hecho, aparte de dificultar la reutilización de los objetos de aprendizaje de tipo *Networked* debido a la ausencia de información potencialmente relevante, también causa que un objeto de aprendizaje con estructura organizativa interna *Networked* pueda satisfacer la definición de un objeto de aprendizaje con estructura organizativa interna *Collection*.

Finalmente, en sexto lugar, LOM no hace explícito si existe algún tipo de relación taxonómica (ambigüedad A6) entre las diferentes estructuras organizativas internas que contempla, de tal manera que no está claro hasta que punto un objeto de aprendizaje compuesto puede tener asociadas simultáneamente diversas estructuras organizativas

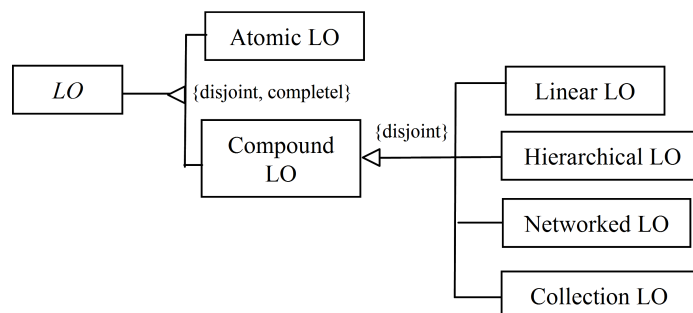


Figura 4.4: Segunda propuesta de especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su estructura organizativa interna

internas. Esta situación está íntimamente relacionada con el punto anterior, donde se ha puesto de manifiesto que un objeto de aprendizaje compuesto con estructura organizativa interna *Networked* también podría ajustarse a una estructura organizativa interna de tipo *Collection*. De manera similar, y desde un punto de vista matemático, la estructura organizativa interna *Linear* podría ser considerada un caso particular de la estructura organizativa interna *Hierarchical*. A su vez, una estructura organizativa interna de tipo *Hierarchical*, podría ser considerada un caso particular de la *Networked*. En caso de aceptarse que un objeto de aprendizaje compuesto admite a la vez diferentes estructuras organizativas internas y que dichas estructuras organizativas internas están relacionadas entre sí, sería posible diseñar una jerarquía de especialización como la se muestra en la figura 4.3.

Sin embargo, una lectura detallada del texto asociado al estándar permite concluir que LOM considera que cada objeto de aprendizaje tiene asociada una estructura organizativa interna única. Esta afirmación se sustenta en el hecho que LOM define en metadato 1.7 *Structure* como monovaluado. Si se desea mantener dicha restricción sobre este metadato, la jerarquía de especialización propuesta en la figura 4.3 no es válida, y se debería transformar en una jerarquía de especialización como la que se muestra en la figura 4.4. La otra consecuencia que se deriva del hecho que el metadato 1.7 *Structure* sea monovaluado es que, cada posible distribución y ordenación (expresada a través de la definición de la relaciones retóricas *previous* o *next*) de los objetos de aprendizaje que conforman un objeto de aprendizaje compuesto, da lugar a objetos de aprendizaje compuestos diferentes.

| Ambigüedad | Decisiones tomadas para su resolución |
|---|---|
| Contenido asociado a los objetos de aprendizaje compuestos (A1) | Los objetos de aprendizaje compuestos no incorporan contenido propio, surgen como la suma de los objetos de aprendizaje que los conforman. |
| Formas de componer objetos de aprendizaje compuestos (A2) | Los objetos de aprendizaje compuestos se pueden crear a través de la agrupación, agregación y composición de los objetos de aprendizaje que los conforman. |
| Relaciones no taxonómicas a considerar entre los objetos de aprendizaje compuestos y los objetos de aprendizaje que los conforman (A3 y A4) | Relación <i>is part of</i> (<i>has part</i>) para especificar los objetos de aprendizaje que forman parte de un objeto de aprendizaje compuesto. Relación <i>previous</i> (<i>next</i>) para definir la distribución y ordenación de los contenidos asociados a los objetos de aprendizaje que forman parte de los objetos de aprendizaje compuestos. |
| Definición de la estructura organizativa interna <i>Networked</i> (A5) | Necesidad de definir las relaciones <i>previous</i> (<i>next</i>) pertinentes para que la estructura organizativa interna <i>Networked</i> sea distinguible de otras estructuras organizativas internas. |
| Relaciones taxonómicas entre las diferentes estructuras organizativas internas (A5, A6) | Inexistentes. Cada objeto de aprendizaje tiene una estructura organizativa interna única (véase la figura 4.4). Diferentes distribuciones y ordenaciones de unos mismos objetos de aprendizaje dan lugar a objetos de aprendizaje compuestos diferenciados. |

Tabla 4.2: Resumen de ambigüedades sobre las estructuras organizativas de los objetos de aprendizaje y su resolución

Con el objetivo de respetar al máximo el texto asociado a LOM, en este trabajo de tesis se opta por mantener el metadato 1.7 *Structure* como monovaluado. En consecuencia, la jerarquía de especialización que permite representar las diferentes clases de objetos de aprendizaje atendiendo a las estructuras organizativas internas propuestas por LOM es la representada en la figura 4.4. La especialización, a efectos de objetos de aprendizaje compuestos, no impone la restricción de completitud, por si fuera necesario considerar nuevos tipos de estructuras organizativas internas. Asimismo es importante destacar que en OpenCyc la única clase relacionada con las clases de objetos de aprendizaje representadas en esta jerarquía de especialización sería la clase genérica **RelationalStructure**, la cual sería superclase de las clases *Networked LO*, *Hierarchical LO* y *Linear LO*. La clase de **RelationalStructure** tiene instancias que definen un conjunto de elementos entre los que se establecen una o más relaciones.

Con respecto a restricciones de integridad, la figura 4.4 muestra que la especialización propuesta debe verificar las siguientes restricciones de integridad:

- RI6. La especialización de los objetos de aprendizaje en las clases *Atomic LO* y *Compound LO* es disjunta y total. Es decir, o un objeto de aprendizaje es atómico o compuesto, pero no ambas cosas a la vez. Tampoco existen objetos de aprendizaje que no pertenezcan a una de las dos categorías.
- RI7. La especialización de los objetos de aprendizaje compuestos en las clases *Collection LO*, *Networked LO*, *Hierarchical LO* y *Linear LO* es disjunta.

Evidentemente, existen más restricciones de integridad que se presentarán en secciones posteriores. Más concretamente, en la subsección 4.3.4, se estudiarán las relaciones no taxonómicas aplicables a los objetos de aprendizaje. Entre las relaciones estudiadas se tratarán las relaciones *is part of* y *previous*. Adicionalmente, en el caso de la relación *is part of*, se propondrán relaciones subtipo que permitirán capturar las diferentes formas (agrupación, agregación y composición) de componer objetos de aprendizaje compuestos. Por su parte, las restricciones de integridad que imponen cada una de las estructuras organizativas serán presentadas en la sección 4.4.

Para finalizar, a continuación se presentan diferentes ejemplos de objetos de aprendizaje para cada una de las clases propuestas. Dichos ejemplos se muestran de manera gráfica en la figura 4.5, y se basan en tipos de recursos educativos típicamente disponibles para los estudiantes de la UOC. Entre estos recursos educativos se encuentran

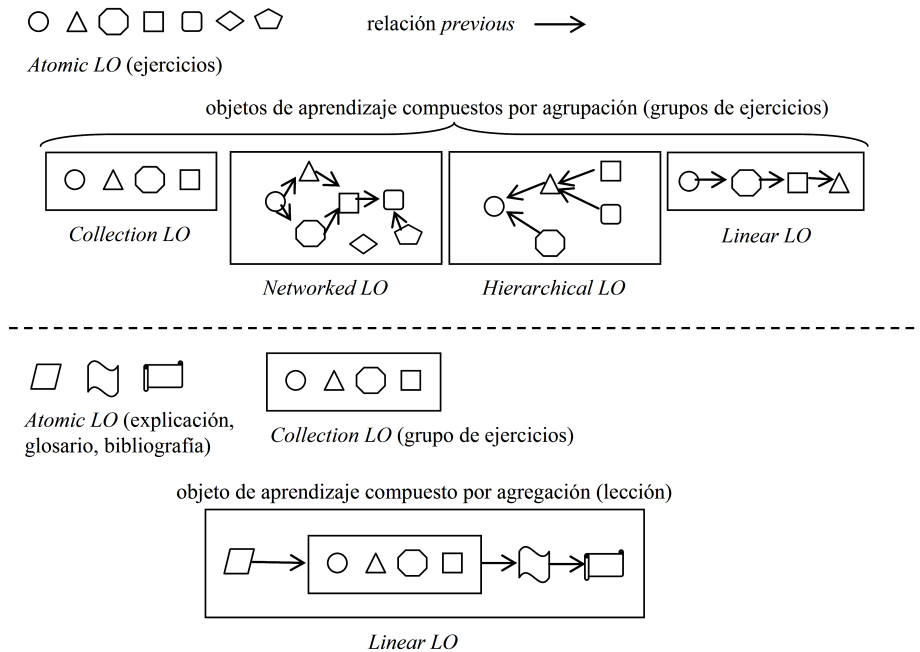


Figura 4.5: Ejemplos de objetos de aprendizaje según su estructura organizativa interna

grupos de ejercicios y lecciones las cuales, en el contexto de la UOC, también se conocen bajo la denominación de módulos didácticos. Si bien, a efectos de lo que se pretende ilustrar, es irrelevante que los objetos de aprendizaje sean de tipo conceptual o concreción (de acuerdo a la jerarquía de especialización presentada en la subsección 4.2.1), supóngase que se trata de objetos de aprendizaje conceptuales.

En la figura 4.5, los objetos de aprendizaje se representan mediante formas geométricas. En concreto, los objetos de aprendizaje compuestos se representan mediante rectángulos. Para cada objeto de aprendizaje compuesto se muestra cuáles son los objetos de aprendizaje que lo conforma. Adicionalmente, en el caso de los objetos de aprendizaje *Networked*, *Hierarchical* y *Linear*, las flechas representan las relaciones retóricas *previous* que permiten expresar una distribución y ordenación de los contenidos asociados a los objetos de aprendizaje que forman cada objeto de aprendizaje compuesto. Es importante destacar que, a pesar que los objetos de aprendizaje compuestos *Collection* y *Linear* propuestos en el ejemplo agrupan los mismos objetos de aprendizaje, son considerados dos objetos de aprendizaje compuestos diferentes.

La parte superior de la figura, muestra diferentes objetos de aprendizaje compuestos obtenidos como agrupación de objetos de aprendizaje homogéneos. Más concretamente,

como ejemplo de objeto de aprendizaje *Collection*, se presenta un grupo de ejercicios que pueden ser realizados en cualquier orden. Como ejemplos de objetos de aprendizaje *Networked* y *Hierarchical* se presentan grupos de ejercicios que parcialmente pueden ser realizados en diferentes órdenes. Finalmente, como ejemplo de objeto de aprendizaje *Linear* se presenta un grupo de ejercicios que deben realizarse en un determinado orden (por ejemplo, en orden de dificultad creciente). Por su parte, la parte inferior de la figura muestra un ejemplo de objeto de aprendizaje compuesto *Linear* obtenido como agregación de otros objetos de aprendizaje. Específicamente se trata de una lección (o módulo didáctico) que, en el caso de la UOC, típicamente agrega explicaciones, un grupo de ejercicios, un glosario y bibliografía.

4.2.3. Objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas

En esta subsección se muestran diferentes especializaciones (véanse las figuras 4.6, 4.7 y 4.9) de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características pedagógicas expresadas en LOM a través de la categoría 5. *Educational*.

Más concretamente, las especializaciones se realizan en función del tipo de recurso de aprendizaje bajo consideración (metadato 5.2 *Learning resource type*) y del modo de aprendizaje promovido por el objeto de aprendizaje (metadato 5.1 *Interactivity type*).

Las especializaciones diseñadas son útiles por diversos motivos. En primer lugar, las especializaciones propuestas integran, no sólo los tipos de objetos de aprendizaje propuestos por LOM (metadato 5.2 *Learning resource type*), sino también los de Dublin Core (metadato *DC.Type*), haciendo explícito cómo se relacionan entre sí, y haciendo compatible su uso conjunto. Si bien existen trabajos que proponen el uso de metadatos de ambas especificaciones, pocos de estos trabajos estudian las relaciones que se establecen entre ellos, más allá de las relaciones de equivalencia. A modo de ejemplo, en Koutsomitropoulos et al. (2010) se realiza un estudio de relaciones de especialización entre los metadatos de LOM y Dublin Core, aunque dicho estudio, no incluye los tipos de recursos de aprendizaje. Mientras que los tipos propuestos por LOM aparecen en las figuras 4.6 y 4.7 en rectángulos de fondo blanco y línea continua, los de Dublin Core aparecen en rectángulos de fondo blanco y línea discontinua.

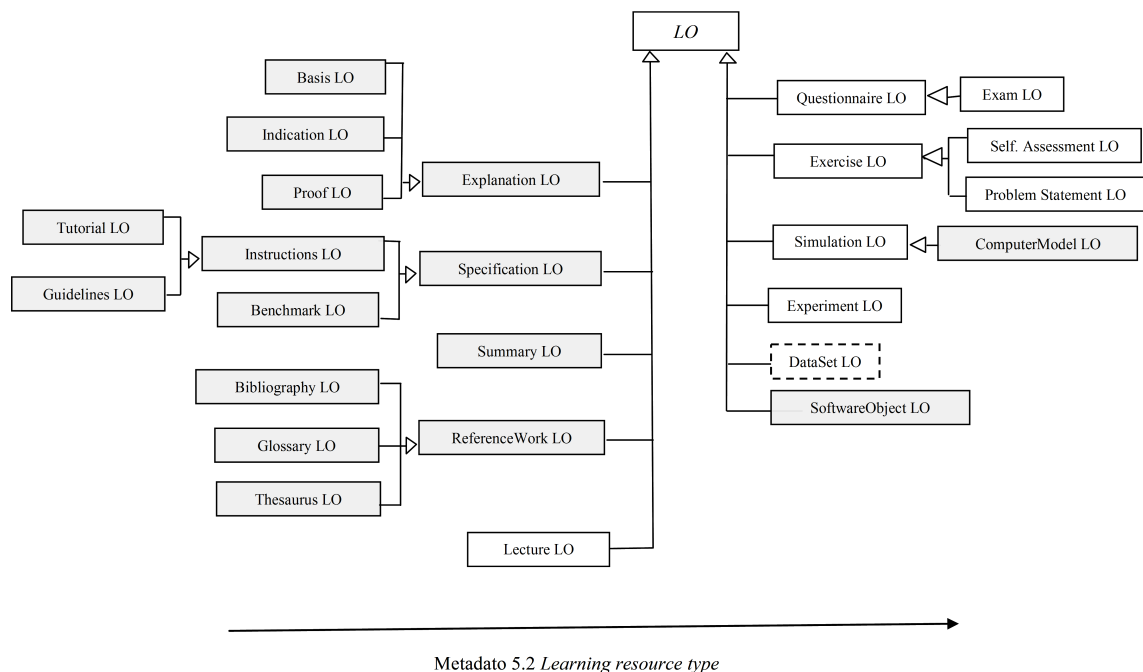


Figura 4.6: Especializaciones de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas. Aspectos instruccionales

En segundo lugar, las especializaciones distinguen, a través de la creación de jerarquías de especialización independientes, entre aspectos instruccionales (jerarquías mostradas en la figura 4.6) y aspectos de representación de los objetos de aprendizaje (jerarquía mostrada en la figura 4.7). Los aspectos instruccionales expresan qué es el objeto de aprendizaje desde un punto de vista educativo, y afectan tanto al objeto de aprendizaje entendido como creación intelectual (con independencia que éste sea compuesto o atómico), como a todos los objetos de aprendizaje concreción que tenga asociado. Por su parte, los aspectos de representación expresan cómo el usuario (profesor, estudiante etc.) percibe el objeto de aprendizaje. Por lo tanto, estos aspectos únicamente son aplicables a los objetos de aprendizaje concreción. Estos objetos de aprendizaje, de acuerdo a lo presentado en la subsección 4.2.1, son instancia de la clase *Materialized LO* (véase la figura 4.7). En consecuencia, mientras las jerarquías de especialización de acuerdo a aspectos instruccionales son ortogonales a las jerarquías de especialización presentadas en las subsecciones 4.2.1 y 4.2.2, éste no es el caso de la jerarquía de especialización de acuerdo a aspectos de representación.

El hecho que los valores propuestos por LOM para el metadato 5.2 *Learning resource type* mezclen aspectos instruccionales y de representación, ha sido objeto de críticas

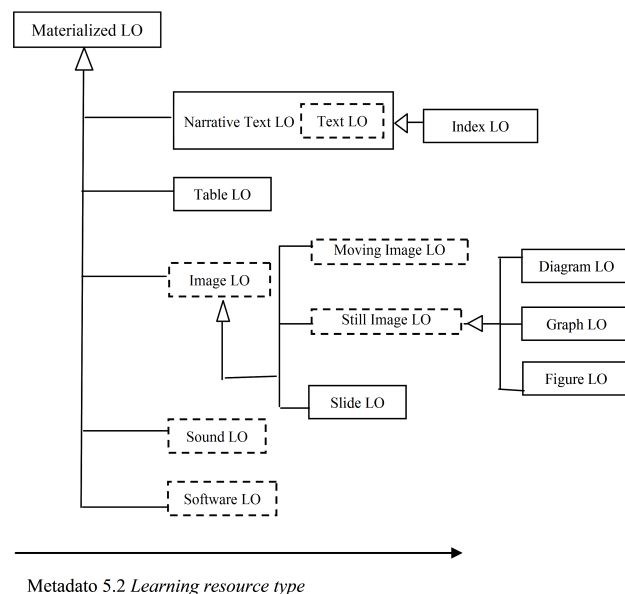


Figura 4.7: Especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas. Aspectos de representación

—para una discusión más detallada véase, por ejemplo, Kabel et al. (2004) y Ullrich (2005)—. En este trabajo de tesis se considera que tratar ambos aspectos no es problemático, lo que es relevante es poderlos distinguir claramente, dado que considerar aspectos relativos a la representación del objeto de aprendizaje puede ser un elemento importante a tener en cuenta en la búsqueda de objetos de aprendizaje de acuerdo a las preferencias o posibles limitaciones de los usuarios. En este sentido destacar que Dublin Core, para describir el tipo de un objeto de aprendizaje, básicamente se centra en aspectos de representación (véase la figura 4.7).

Siguiendo con la utilidad de las especializaciones propuestas, en tercer lugar, la especialización de acuerdo a aspectos instruccionales añade nuevos tipos de recursos de aprendizaje. Existen diferentes trabajos —entre otros, Ullrich (2005) y Juan et al. (2011)— que desarrollan taxonomías propias (es decir, taxonomías que obvian los tipos de recursos de aprendizaje propuestos por LOM) de objetos de aprendizaje de acuerdo a criterios pedagógicos relacionados con aspectos instruccionales. Las taxonomías propuestas, aparte de comprometer la interoperabilidad, en general sólo son aplicables dentro del área de conocimiento (o disciplina) donde se pretenden utilizar.

Dada la dificultad de alcanzar un consenso general e independiente del área de conocimiento donde se pretenden utilizar los objetos de aprendizaje, en este trabajo de tesis se propone una solución de mínimos. Esta solución puede ser extendida según las necesidades de cada institución o dominio de aplicación. En la figura 4.6 se muestran, mediante rectángulos de fondo gris y línea continua, los tipos de recursos de aprendizaje añadidos, y cómo éstos se relacionan, no sólo entre sí, sino también con los tipos de recursos de aprendizaje contemplados por LOM y Dublin Core. Dado que se trata de una solución de mínimos, no se realiza ninguna afirmación sobre la completitud de las especializaciones propuestas. De manera similar, las especializaciones tampoco son disjuntas. Esto significa que un mismo objeto de aprendizaje puede ser de diferentes tipos. Esto es coherente con LOM y Dublin Core. Por ejemplo, LOM define el metadato 5.2 *Learning resource type* como multivaluado.

Los tipos de objetos de aprendizaje añadidos se relacionan con jerarquías de clases de OpenCyc, las cuales se muestran en la figura 4.8. Tal y como se aprecia en dicha figura, todas las clases de interés comparten el hecho de ser subclasses de la clase *ConceptualWork*. Esta clase, tal y como se ha establecido en la subsección 4.2.1, también es superclase de la clase *Conceptual LO*. La figura omite algunas clases intermedias y únicamente se presentan los primeros niveles, dado que la clase *ConceptualWork* define del orden de 3.000 subclasses. Obviamente, una buena parte de dichas subclasses no resultan de interés en el ámbito de representación de los objetos de aprendizaje. Dado que las especializaciones de acuerdo a características educativas se aplica tanto a los objetos de aprendizaje conceptuales como a los objetos de aprendizaje concreción, y dado que en OpenCyc no existe una jerarquía equivalente a la mostrada para la clase *InformationBearingThing* (recuérdese que esta clase es superclase de la clase *Materialized LO*), las especializaciones mostradas en las figuras 4.6 y 4.8 se relacionan tal y como se describe a continuación:

- Las clases de OpenCyc *Explanation*, *Specification*, *Summary-CW*, *ReferenceWork*, *ComputerModel* y *SoftwareObject* serían superclases, respectivamente, de aquellos conjuntos de instancias de las clases *Explanation LO*, *Specification LO*, *Summary LO*, *ReferenceWork LO*, *ComputerModel LO* y *SoftwareObject LO* que además fuesen conceptuales. Cada uno de estos conjuntos de instancias darían lugar a nuevas subclasses, no mostradas en la figura 4.6. La situación que se acaba de descri-

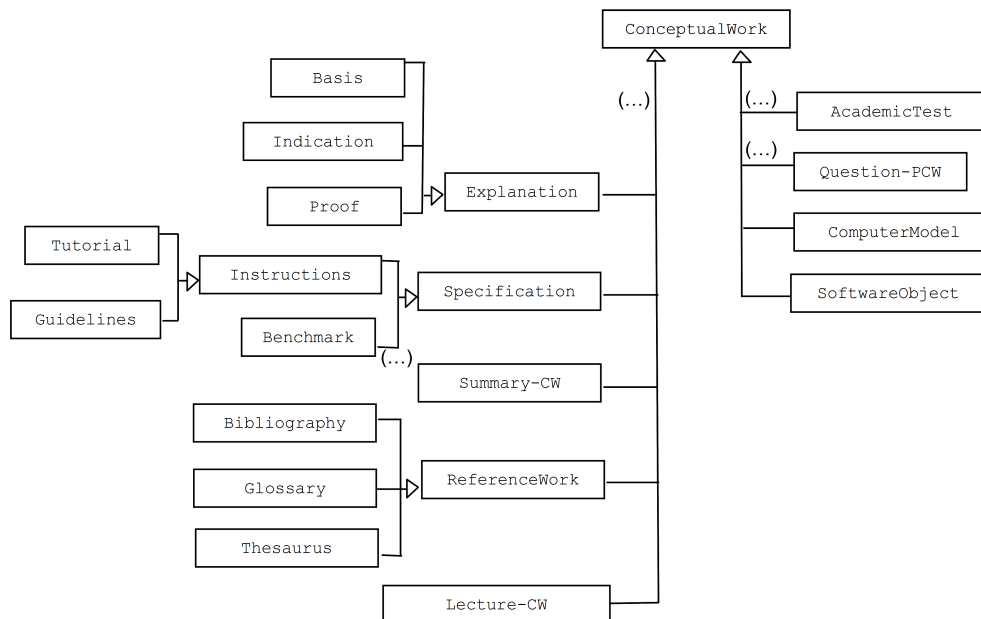


Figura 4.8: Clases OpenCyc relacionadas con características educativas. Aspectos instruccionales

bir también sería aplicable a las subclases de las clases de OpenCyc **Explanation**, **Specification** y **ReferenceWork**.

- Por su parte, las clases de OpenCyc **Lecture-CW**, **AcademicTest** y **Question-PCW** se relacionan con ciertos tipos de recursos de aprendizaje contemplados por LOM. Estos tipos son los que quedan representados, respectivamente, por las clases *Lecture LO*, *Questionnaire LO* y *Exercise LO*. En concreto, las clases de OpenCyc **Lecture-CW**, **AcademicTest** y **Question-PCW** serían superclases de aquellas clases (no mostradas en la figura 4.6) que representasen aquellos objetos de aprendizaje de tipo *Lecture LO*, *Questionnaire LO* y *Exercise LO* que además fuesen de naturaleza conceptual.

Es importante destacar que las especializaciones propuestas para los tipos de recursos de aprendizaje no siempre extienden, a través de un proceso de refinamiento, los tipos propuestos por LOM. Por ejemplo, las clases *Explanation LO* o *Specification LO* (véase la figura 4.6) no son subclase de ninguno de los tipos propuestos por LOM. Si bien es cierto que la solución propuesta puede comprometer la interoperabilidad con implementaciones que usen únicamente el vocabulario propuesto por LOM, el hecho que no haya sido posible extender mediante un proceso de refinamiento los tipos de objetos de aprendizaje originalmente propuestos por LOM, no hace más que reforzar la

afirmación –véase, por ejemplo, Kabel et al. (2004) y Ullrich (2005)– sobre las limitaciones de LOM en relación al vocabulario asociado al metadato 5.2 *Learning resource type*. Sobre la situación descrita, la limitación es por omisión de valores relevantes. En cualquier caso, a efectos de garantizar la interoperabilidad con implementaciones que usen el vocabulario propuesto por LOM, la información relativa a los tipos de recursos de aprendizaje no relacionados con LOM se podrían transformar en descripciones. En definitiva, se trataría de transformar semántica que el modelo conceptual propuesto en este trabajo de tesis considera de manera explícita en semántica implícita. La desventaja que aparece es que la semántica implícita sólo será interpretable por personas.

Otro aspecto a resaltar es que, en las figuras 4.6 y 4.7 aparecen, respectivamente, las clases *SoftwareObject LO* (tipo de objeto de aprendizaje añadido y relacionado con OpenCyc) y *Software LO* (tipo de objeto de aprendizaje propuesto por Dublin Core). El motivo para esta dicotomía es que un objeto de aprendizaje de tipo software también puede ser considerado un elemento instruccional, al menos en entornos de aprendizaje relacionados con las TIC.

Para finalizar el análisis de la utilidad, en cuarto lugar, las especializaciones propuestas ayudan a reflexionar sobre las relaciones que se establecen entre los metadatos de LOM 5.1 *Interactivity type* y 5.2 *Learning resource type*, dado que estos metadatos no son independientes entre sí. Los objetos de aprendizaje, de acuerdo al modo de aprendizaje que promueven, se pueden especializar, según LOM, en las clases *Passive LO*, *Active LO* y *Mixed LO* (esta especialización se muestra en la figura 4.9), para las que no existen conceptos relacionados en OpenCyc. Los objetos de aprendizaje pasivos tienen una naturaleza expositiva, de tal manera están concebidos con la intención de comunicar información a ser absorbida por los usuarios de los objetos de aprendizaje. Por su parte, los objetos de aprendizaje activos promueven un aprendizaje participativo, requiriendo del usuario que tome decisiones o realice algún tipo de actividad productiva. Para acabar, los objetos de aprendizaje mixtos mezclan los tipos activo y pasivo, y están relacionados con objetos de aprendizaje de granularidad gruesa, como podría ser el caso, por ejemplo, de objetos de aprendizaje compuestos.

Las especializaciones mostradas en la figura 4.6 recogen aspectos instruccionales relativos al metadato 5.2 *Learning resource type*. La relación entre estas especializaciones y la especialización que muestra la figura 4.9 se describe a continuación. Los objetos

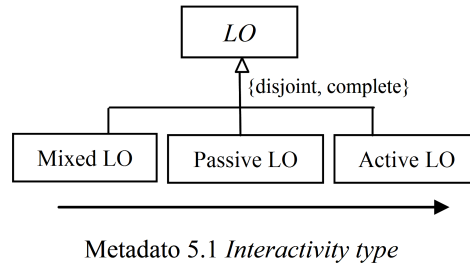


Figura 4.9: Especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas. Modo de aprendizaje promovido

de aprendizaje que únicamente pertenecen a clases de la especialización mostrada en la parte izquierda de la figura 4.6 (por ejemplo, objetos de aprendizaje como *Explanation LO* o *Specification LO*) son objetos de aprendizaje de naturaleza pasiva, mientras que los objetos de aprendizaje que únicamente pertenecen a clases de la especialización mostrada en la parte derecha de la figura 4.6 (por ejemplo, objetos de aprendizaje como *Questionnaire LO* o *Exercise LO*) son objetos de aprendizaje de naturaleza activa. Por otra parte, los objetos de aprendizaje que pertenecen simultáneamente a clases de ambas especializaciones son de naturaleza mixta.

Con respecto a restricciones de integridad, las especializaciones propuestas deben verificar las que se indican a continuación:

- RI8. La especialización de los objetos de aprendizaje en las clases *Passive LO*, *Active LO* y *Mixed LO* es disjunta y total. Es decir, o un objeto de aprendizaje es pasivo (y entonces no es activo ni mixto), o activo (y entonces no es pasivo ni mixto), o mixto (y entonces no es activo ni pasivo). Tampoco existen objetos de aprendizaje que no pertenezcan a una de las tres categorías.
- RI9. Un objeto de aprendizaje pasivo no puede ser de tipo *Questionnaire LO*, *Exercise LO*, *Simulation LO*, *Experiment LO*, *DataSet LO*, o *SoftwareObject LO*.
- RI10. Un objeto de aprendizaje activo no puede ser de tipo *Explanation LO*, *Specification LO*, *Summary LO*, *ReferenceWork LO*, o *Lecture LO*.
- RI11. No pueden existir objetos de aprendizaje mixtos que únicamente sean objetos de aprendizaje de tipo *Explanation LO*, *Specification LO*, *Summary LO*, *ReferenceWork LO*, o *Lecture LO*. Tampoco pueden existir objetos de aprendizaje mixtos

que únicamente sean objetos de aprendizaje de tipo *Questionnaire LO*, *Exercise LO*, *Simulation LO*, *Experiment LO*, *DataSet LO*, o *SoftwareObject LO*.

4.2.4. Ejemplo de aplicación de las especializaciones propuestas

Para finalizar, en esta subsección se presenta un ejemplo que utiliza las especializaciones previamente propuestas con el objetivo de mejorar el resultado de los procesos de búsqueda de objetos de aprendizaje en un repositorio institucional, tomando de nuevo como escenario de aplicación la UOC. En el caso de esta universidad, el repositorio almacenará los mismos objetos de aprendizaje, al menos, en lengua española y catalana y también, para alguno de los objetos de aprendizaje, quizá existirán diferentes versiones. Adicionalmente, unos mismos contenidos podrán estar disponibles en varios formatos de representación final.

Supóngase que se desean buscar colecciones de ejercicios relativos a un determinado tema. La búsqueda podría trabajar con objetos de aprendizaje conceptuales, más concretamente con aquéllos que pertenecen a la clase *Original LO* (véase la subsección 4.2.1), y se podría resolver siguiendo la estrategia que se describe a continuación.

En primer lugar se realizaría la intersección de aquéllos objetos de aprendizaje que son conceptuales originales que se ajustan al tema de interés y que también pertenecen a la clase *Exercise LO* (teniendo en cuenta las especializaciones presentadas en la subsección 4.2.3). Como resultado se obtendrían todos los objetos conceptuales originales de tipo ejercicio relativos al tema demandado, incluyendo también los objetos de aprendizaje de tipo *Self Assessment LO* y *Problem Statement LO*, puesto que la relación de especialización verifica la propiedad transitiva. En segundo lugar, se realizaría la intersección del conjunto de objetos de aprendizaje obtenidos en el paso previo con el conjunto de objetos de aprendizaje que pertenecen a la clase *Collection LO* (de acuerdo a la especialización mostrada en la subsección 4.2.2). El resultado de este último paso incluiría los objetos de aprendizaje conceptuales originales que constituyen colecciones de ejercicios que se ajustan al tema de interés.

Una vez localizados los objetos de aprendizaje conceptuales originales que verifican los criterios de búsqueda, los resultados de la misma se podrían agrupar en función de

los objetos de aprendizaje derivados existentes (estos objetos de aprendizaje pertenecen a la clase *Derived LO*), a través del análisis de, al menos, las relaciones *has translation* y *has version*, y en función de los objetos de aprendizaje concreción disponibles para cada objeto de aprendizaje conceptual derivado. Dichos objetos de aprendizaje concreción pertenecen a la clase *Materialized LO* y se obtendrían a través del análisis de la relación *materialized by* (relación inversa a *materialization of*).

Como resultado, el usuario podrá escoger entre los objetos de aprendizaje que se ajustan a sus criterios de búsqueda (colecciones de ejercicios de un determinado tema) en función de los diferentes idiomas, versiones y formatos de representación final disponibles. En la sección 4.5 se introducirán nuevos elementos que pueden mejorar la agrupación de los resultados de la búsqueda de objetos de aprendizaje.

4.3. Relaciones no taxonómicas entre objetos de aprendizaje

Esta sección se centra en el estudio de las relaciones que se establecen entre instancias de objetos para el aprendizaje. Más específicamente, tras una revisión crítica de los problemas y limitaciones que presenta la categoría 7. *Relation*, se presentan las soluciones que este trabajo de tesis propone para resolver los problemas y limitaciones detectados. Estas soluciones consisten, básicamente, en una propuesta de taxonomía de relaciones sujeta a ciertas restricciones de integridad. La taxonomía incluye, además de las relaciones propuestas por LOM, nuevas relaciones de interés para el dominio de los objetos de aprendizaje.

4.3.1. Revisión crítica de relaciones en LOM

LOM permite especificar relaciones binarias entre instancias de objetos de aprendizaje a través de los metadatos definidos en la categoría 7. *Relation*. Dado que un objeto de aprendizaje puede estar relacionado con diferentes objetos de aprendizaje, LOM permite que el registro (o registros) de metadatos que describe un objeto de aprendizaje pueda definir diversas instancias de los metadatos que pertenecen a la categoría 7. *Relation*. Más concretamente, se deberá definir una instancia de estos metadatos por cada

| Relación | Definición | Ejemplo |
|--------------------------------------|---|---|
| <i>is part of (has part)</i> | Un objeto de aprendizaje es parte física o lógica de otro objeto de aprendizaje. | Un ejercicio de álgebra relacional <i>is part of</i> una lista de ejercicios sobre el modelo relacional de bases de datos. |
| <i>is version of (has version)</i> | Un objeto de aprendizaje es un estado histórico o edición de otro objeto de aprendizaje efectuado por el mismo creador. | Una nueva versión actualizada de una lección <i>is version of</i> la lección original. |
| <i>is format of (has format)</i> | Un objeto de aprendizaje ha sido derivado a partir de otro objeto de aprendizaje a través de reproducción o tecnología de reformato. | Leccion.pdf <i>is format of</i> Leccion.doc. |
| <i>references (is referenced by)</i> | Un objeto de aprendizaje cita, reconoce, discute etc. sobre otro objeto de aprendizaje. | Una lección que explica los fundamentos del modelo relacional de bases de datos <i>references</i> a una lección que trata sobre álgebra de conjuntos. |
| <i>is based on (is basis for)</i> | Un objeto de aprendizaje es una producción, derivación, adaptación o interpretación de otro objeto de aprendizaje. | Una lección sobre los fundamentos del modelo relacional de bases de datos para estudiantes de ciclos formativos de grado superior <i>is based on</i> una lección que trata los mismos conceptos pero dirigida a estudiantes universitarios. |
| <i>requires (is required by)</i> | Un objeto de aprendizaje requiere de otro objeto de aprendizaje para su funcionamiento, entrega, o contenido y no puede ser usado sin que el objeto de aprendizaje relacionado esté presente. | Un ejercicio de contraste de hipótesis de prueba t-Student <i>requires</i> el uso de la tabla de la t-Student. |

Tabla 4.3: Relaciones propuestas por LOM en la categoría 7. *Relation*

relación en la que participe el objeto de aprendizaje que está siendo descrito. Dado un objeto de aprendizaje, para cada relación, es necesario especificar:

1. El objeto de aprendizaje con el cual se relaciona, a través del metadato agregado 7.2 *Resource*. Este metadato permite identificar y describir el objeto de aprendizaje que participa en la relación.
2. La naturaleza de la relación que se establece entre ambos objetos de aprendizaje, mediante el metadato 7.1 *Kind*.

Las diferentes relaciones que se pueden expresar entre instancias de objetos de aprendizaje a través del metadato 7.1 *Kind* quedan especificadas mediante un vocabulario. A su vez, este vocabulario se basa en las relaciones propuestas por Dublin Core. Adicionalmente, cada relación tiene asociada su relación inversa. La tabla 4.3 muestra la lista de relaciones propuesta por LOM, su significado y un ejemplo por relación. Las

relaciones son útiles, tanto a efectos pedagógicos, como a efectos de tareas de control y auditoría, especialmente en el caso de repositorios institucionales.

A partir de las definiciones presentadas en la tabla 4.3, es posible detectar una serie de problemas que muestran las ambigüedades y deficiencias de las relaciones propuestas en LOM, así como de sus metadatos relacionados. A continuación se analizan dichos problemas y sus causas. Asimismo, los problemas se resumen en la tabla 4.4.

Como primer problema (P1), LOM no define las propiedades que verifican las relaciones. Como segundo problema (P2), a partir de las definiciones previas, es posible deducir que algunas relaciones no son independientes entre sí, hecho que no hace explícito LOM. Como tercer problema (P3), algunas relaciones están definidas a un nivel excesivamente genérico, causando que semántica relevante entre los objetos de aprendizaje quede implícita, debido a la ausencia de relaciones más específicas.

Las causas de los problemas previamente planteados radican en el uso de vocabularios por parte de LOM, y en la más que posible ausencia de método para establecer dichos vocabularios. Si dicho método existe, no se explica ni en LOM, ni en otras especificaciones afines del ámbito del *e-learning*. A continuación se pasa a examinar este primer grupo de problemas.

Así, por ejemplo, LOM no hace explícito el hecho que la relación *is version of* o *is based on* verifican la propiedad asimétrica (y en consecuencia, la antirreflexiva y la antisimétrica). Tampoco hace explícito que estas relaciones comparten significado. De hecho, ambas relaciones permiten crear objetos de aprendizaje a partir de otros objetos de aprendizaje, conservando, en mayor o menor grado, una parte básica del contenido asociado al objeto de aprendizaje de partida. De manera similar, la relación *is part of* está definida de manera genérica, tal y como ya se ha argumentado en la subsección 4.2.2. Aparte de capturar relaciones de pertenencia (o agrupación) y de agregación y composición, también puede representar otros significados como, por ejemplo, posesión, otros tipos inclusión (más allá de la pertenencia), materialización etc. En Chaffin & Herrmann (1988) y Martin & Odell (1995) se presentan estudios que analizan los diferentes significados de la relación *is part of* desde diferentes disciplinas (ciencia cognitiva e informática, respectivamente).

| | |
|----|---|
| P1 | Omisión de las propiedades (asimetría, transitividad etc.) asociadas a las relaciones |
| P2 | Ausencia de definición de posibles dependencias (en el significado) entre las relaciones |
| P3 | Relaciones con significado asociado excesivamente genérico |
| P4 | Omisión de relaciones relevantes para la definición de objetos de aprendizaje compuestos |
| P5 | Ausencia de las restricciones de integridad a considerar en el uso de relaciones entre los objetos de aprendizaje |

Tabla 4.4: Resumen de problemas asociados a las definiciones de las relaciones en LOM

Como cuarto problema (P4), en la categoría 7. *Relation* se omiten otras relaciones relevantes que también están relacionadas con los objetos de aprendizaje compuestos. Ya se ha presentado que, la relación que posibilita la creación de objetos compuestos, es la relación *is part of* o una relación subtipo más específica. Pero no es la única relación que es necesario considerar, tal y como ya se ha argumentado en la subsección 4.2.2. Hay estructuras organizativas internas (en concreto, las estructuras *Networked*, *Hierarchical* y *Linear*) que requieren expresar una distribución y ordenación coherente de los objetos de aprendizaje (de acuerdo al criterio de sus creadores) que conforman el objeto de aprendizaje compuesto desde un punto de vista retórico. Ninguna de las relaciones propuestas por LOM en la categoría 7. *Relation* es apropiada a tal efecto. Una relación apropiada sería la relación *next* (y su relación inversa *previous*), que están propuestas en la categoría 1. *General*, más concretamente en la definición del metadato 1.7 *Structure*. Estas relaciones retóricas, también son relaciones de orden estricto y, en consecuencia, verifican las propiedades asimétrica y transitiva. La causa por la cual la relación *next* (y su relación inversa *previous*) no están incluidas, se explica por el hecho de que, en el contexto de LOM, deben ser consideradas relaciones ternarias, y en la categoría 7. *Relation* de LOM únicamente se permite la inclusión de relaciones binarias.

Como ya se ha argumentado, es perfectamente posible que un mismo objeto de aprendizaje pueda formar parte de diferentes objetos de aprendizaje compuestos. En el caso en que, como mínimo, dos mismos objetos de aprendizaje formen parte de dos objetos de aprendizaje compuestos con diferente distribución y ordenación, es evidente que una relación binaria es insuficiente para determinar cómo se distribuyen y se ordenan dichos objetos de aprendizaje en cada uno de los objetos de aprendizaje compuestos. El contexto en el que los objetos de aprendizaje se componen pasa a ser

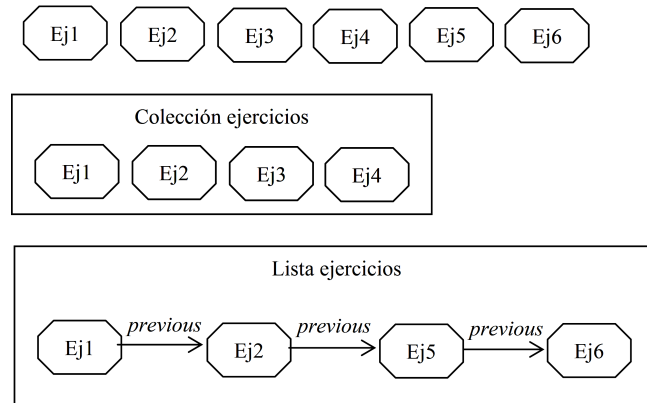


Figura 4.10: Uso de las relaciones retóricas

determinante en las relaciones retóricas que entre ellos se establecen. Precisamente, ese contexto es el objeto de aprendizaje compuesto que se crea como consecuencia de distribuir y ordenar los objetos de aprendizaje que lo componen.

En las figuras 4.10 y 4.11 se muestra la problemática previamente descrita, asumiendo que la relación *next* (o *previous*) fuese binaria. La figura 4.10 representa la situación que se desea especificar. Existen una serie de objetos de aprendizaje atómicos que son ejercicios (y por lo tanto, al menos, serían instancia de las clases *Exercise LO* y *Atomic LO*). Además, existen dos objetos de aprendizaje compuestos por agrupación, uno de estos objetos de aprendizaje es una colección de ejercicios (sería, en consecuencia, al menos instancia de las clases *Exercise LO* y *Collection LO*), mientras que el otro objeto de aprendizaje compuesto es una lista de ejercicios (sería, por lo tanto, al menos instancia de las clases *Exercise LO* y *Linear LO*). En el caso de la lista de ejercicios, se muestra la ordenación de ejercicios que se agrupan en la lista. Los registros de metadatos asociados a cada objeto de aprendizaje deberían incluir (de manera esquemática y usando únicamente las relaciones propuestas por LOM) la siguiente información a efectos de la categoría 7. *Relation*:

1. El registro de metadatos que describe la colección de ejercicios definirá (mediante el uso de la relación *has part*) que agrupa los objetos de aprendizaje Ej1, Ej2, Ej3 y Ej4. De manera similar, el registro de metadatos que describe la lista de ejercicios definirá que agrupa los objetos de aprendizaje Ej1, Ej2, Ej5 y Ej6.
2. Por su parte, los registros de metadatos que describen a cada uno de los ejercicios a título individual especificará de qué objetos compuestos es miembro mediante el

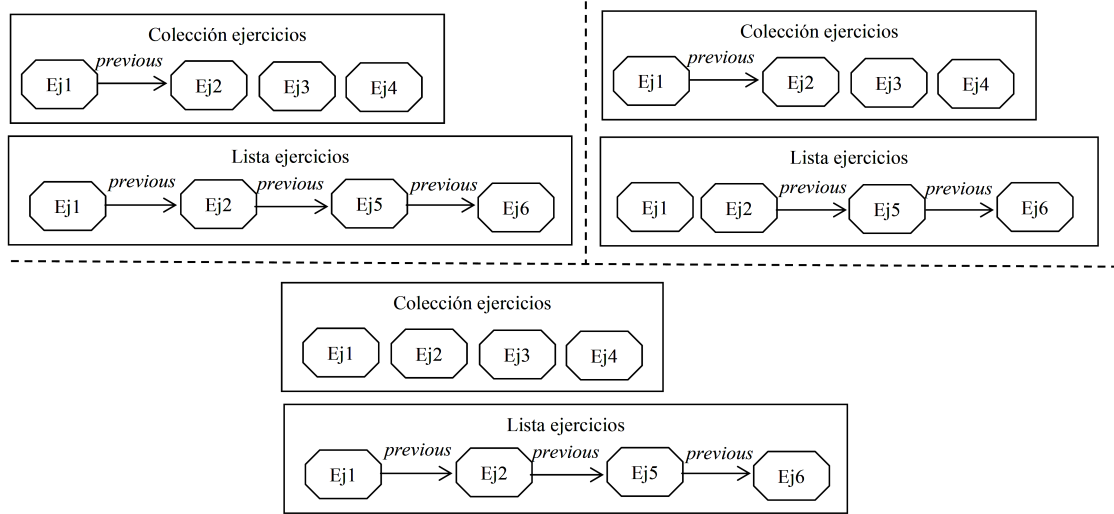


Figura 4.11: Ambigüedad en el uso de relaciones retóricas

uso de la relación *is part of*. Por ejemplo, el registro de metadatos que corresponde a Ej1 especificará que es miembro de dos objetos de aprendizaje compuestos (la colección y la lista de ejercicios).

- Finalmente, los registros de metadatos que corresponden a los objetos de aprendizaje Ej1, Ej2, Ej5 y Ej6 describirán la ordenación que entre ellos se establece mediante el uso de las relaciones *next* y *previous*. Así, por ejemplo, el registro de metadatos que describe a Ej1 definirá que Ej1 es previo a Ej2 (es decir, se usará la relación *previous*), mientras que el registro de metadatos que describe Ej2 declarará que este objeto de aprendizaje es posterior (mediante el uso de la relación *next*) a Ej1.

En el caso que una aplicación quisiese interpretar los registros de metadatos descritos con el objetivo, por ejemplo, de suministrar a un estudiante los objetos de aprendizaje colección y lista de ejercicios, se encontraría que no sabría determinar si las relaciones de orden establecidas entre los objetos de aprendizaje Ej1 y Ej2 se aplican a los dos objetos de aprendizaje compuestos, o únicamente a uno de ellos y, en este último caso, a cuál de ellos, de tal manera que podría dar por válida cualquiera de las ordenaciones que se muestran en la figura 4.11.

Como quinto problema (P5), LOM no especifica las posibles restricciones de integridad que regulan el uso correcto de las relaciones entre los objetos de aprendizaje.

Entre estas restricciones de integridad se podrían citar, a modo de ejemplo, la no circularidad en el uso de las relaciones *is part of* (y en su relación inversa *has part*) para la creación de objetos de aprendizaje compuestos, posibles restricciones de integridad asociadas a los procesos de creación de obras derivadas, o restricciones de integridad que especifiquen hasta que punto objetos de aprendizaje relacionados comparten valor para una parte de sus metadatos.

Para finalizar, y a modo de resumen, las relaciones entre objetos de aprendizaje padecen de definiciones ambiguas en LOM. Es más, algunas relaciones están implícitas y diseminadas en diferentes metadatos (fuera del control de la categoría 7. *Relation*) y otras están expresadas de manera excesivamente genérica, omitiendo relaciones relevantes más específicas. Esta situación puede resultar confusa, y puede ser una de las principales razones que explican porque este tipo de metadatos, por lo general, no se incluyen en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje (Friesen 2005). En las subsecciones que vienen a continuación se proporcionan soluciones a los problemas aquí planteados.

4.3.2. Relaciones ternarias

Para poder tratar las diferentes estructuras organizativas internas que propone LOM para los objetos de aprendizaje compuestos, es necesario incluir las relaciones retóricas de orden estricto *next* y *previous*. Como ya se ha presentado en la subsección 4.3.1 estas relaciones, en el contexto de LOM, son ternarias. Dado que LOM, en la categoría 7. *Relation*, únicamente permite definir relaciones binarias, será necesario extender y redefinir los metadatos de LOM que pertenecen a esta categoría, tal y como se propone a continuación:

1. Añadir un nuevo metadato, monovaluado, 7.3 *Arity*. Tal y como su nombre sugiere, este metadato indicará el número de objetos de aprendizaje que intervienen en una determinada relación. Estrictamente hablando, este metadato no es necesario, pero simplifica la gestión de los objetos de aprendizaje.
2. Modificar el número de elementos permitidos de metadato 7.2 *Resource*, de tal manera que pueda pasar a ser un metadato multivaluado.

Si se retoma el ejemplo propuesto en la subsección 4.3.1 (gráficamente representado en la figura 4.10), se puede observar que, con la solución propuesta, se eliminan

los problemas de ambigüedad mostrados en la figura 4.11 sobre la distribución y ordenación de los objetos de aprendizaje que se componen en un objeto de aprendizaje compuesto, y que dan lugar a las diferentes estructuras organizativas que contempla LOM. Más concretamente, y sobre el ejemplo, la extensión propuesta permite especificar, para el registro de metadatos del Ej1, que el Ej1 es previo al Ej2 en el contexto del objeto compuesto lista de ejercicios, mediante el uso de la relación *previous*, dado que la extensión propuesta permite que el metadato 7.2 *Resource* sea multivaluado. De manera análoga, también sería posible especificar la situación inversa, es decir, que el objeto de aprendizaje Ej2, en el contexto del objeto de aprendizaje compuesto lista de ejercicios, es posterior a Ej1. En ambos casos la aridad de la relación será 3. Para el objeto de aprendizaje compuesto colección de ejercicios no sería necesario, o siendo más rigurosos, no estaría permitido especificar ninguna relación de tipo *next* y *previous* tal y como se verá con posterioridad en la subsección 4.4.1.

Para acabar, es importante destacar que podrían existir otras relaciones retóricas aplicables en el ámbito educativo. En Fischer (2001) se pueden encontrar diversos ejemplos de tales relaciones retóricas. En este trabajo de tesis se descarta la incorporación de más relaciones retóricas, por dos motivos principales. En primer lugar, porque muchas de ellas son susceptibles de ser tratadas mediante otras especificaciones ligadas al diseño instruccional, tal y como se ha argumentado en la subsección 4.2.2. Y en segundo lugar, porque LOM no menciona otras relaciones retóricas aplicables a los objetos de aprendizaje. Simplemente recordar que el objetivo central de este trabajo de tesis es dotar de una semántica formal a los elementos propuestos en LOM, especialmente en aquéllos donde el estándar es ambiguo, a la vez que se respeta, siempre que sea posible, el texto asociado al estándar, con el objetivo de asegurar al máximo la interoperabilidad con aquellas implementaciones que utilicen los elementos propuestos por LOM en su esquema base.

4.3.3. Taxonomía de relaciones

A continuación se presenta una taxonomía de relaciones aplicables a los objetos de aprendizaje, no únicamente las incluidas por LOM, sino también las presentadas en la subsección 4.2.1. Sin pérdida de generalidad, y con el objetivo de simplificar las explicaciones, cuando se hable de una relación concreta, en general, se omitirá su relación inversa, aunque las explicaciones también le serán aplicables. Además de las

relaciones que han ido surgiendo a lo largo del capítulo, la taxonomía añade nuevas relaciones de interés en el ámbito de los objetos de aprendizaje que permiten mejorar la expresividad semántica cuando se definen relaciones entre objetos de aprendizaje. La organización de las relaciones en la taxonomía, así como las relaciones añadidas, han sido extraídas de OpenCyc. Para ello se ha seguido un proceso iterativo, el cual se explica a continuación:

1. Análisis de las diferencias en el significado genérico de cada una de las relaciones. Este análisis permite agrupar las relaciones y efectuar un estudio de su aplicabilidad en función de las clases de objetos de aprendizaje que pueden intervenir en la relación.
2. Determinación de las propiedades asociadas a las relaciones.
3. A partir de 2 es posible crear consultas en OpenCyc sobre metaclases de relaciones que permiten recuperar relaciones que cumplen las propiedades deseadas. En general, estas consultas devuelven un número elevado de respuestas las cuales son analizadas grosso modo intentando buscar relaciones genéricas que capturen el significado general de cada uno de los grupos detectados en el punto 1.
4. Una vez localizada, para cada grupo, una relación suficientemente genérica, es posible crear consultas OpenCyc más específicas. Los resultados de estas consultas se examinan, navegando a través de las relaciones obtenidas, por sus propias jerarquía de especialización (hacia subtipos y supertipos). Como resultado se obtienen diferentes relaciones de interés para el ámbito de los objetos de aprendizaje.
5. Las relaciones de interés se envían a un algoritmo de poda –véase Conesa & Olivé (2006) para una discusión más detallada– que crea un fragmento de OpenCyc que contiene las relaciones de interés, los tipos de los participantes en la relación, así como la información relativa a su jerarquía de herencia.

En relación al primer punto, a partir del estudio realizado, es posible determinar que las relaciones contempladas se pueden agrupar en 4 grandes grupos. La tabla 4.5 muestra estos grupos, su descripción y las relaciones incluidas.

Alguno de los grupos incorpora más de una relación. Por ejemplo, éste es el caso del grupo 1, que incluye las relaciones *is based on*, *is version of*, *is format of* e *is*

| Grupo | Descripción | Relaciones |
|---------|---|--|
| Grupo 1 | Define que algo es patrón fuente para la estructura, arreglo, contenido o forma de otra cosa. Alguna parte de la fuente original se preserva. | <i>is based on (is basis for)</i> , <i>is version of (has version)</i> , <i>is format of (has format)</i> , <i>is translation of (has translation)</i> |
| Grupo 2 | Denota posesión, sea por inclusión, pertenencia, agregación, composición, materialización etc. | <i>is part of (has part)</i> , <i>materialization of (materialized by)</i> |
| Grupo 3 | Define que algo contiene información sobre otra cosa, sin incluirla. | <i>references (is referenced by)</i> |
| Grupo 4 | Especifica que algo requiere, necesita, depende o es condicional de otra cosa. | <i>requires (is required by)</i> |

Tabla 4.5: Grupos de relaciones

translation of. Todas estas relaciones comparten el hecho que permiten generar nuevos objetos de aprendizaje a partir de otros objetos de aprendizaje. La diferencia estriba en el grado de contenido y características (expresadas éstas a través del valor que toman los metadatos que describen los objetos de aprendizaje) que se transfieren desde el objeto de aprendizaje de partida al nuevo que se crea. En el caso de la relación *is format of* los contenidos y características asociados al objeto de aprendizaje de partida, en esencia, se transmiten de manera íntegra al nuevo, puesto que se trata de un cambio de representación en el formato de presentación (véase la definición asociada a la relación *is format of* de la tabla 4.3 de la subsección 4.3.1). En el caso de la relación *is translation of* existe también un cambio de representación, en este caso debido a un cambio en el lenguaje del contenido asociado al objeto de aprendizaje. Adicionalmente, también puede existir contribución intelectual por parte del responsable de la traducción, hecho que introduce diferencias significativas en la semántica asociada a la relación *is translation of* con respecto a la relación *is format of*. En cualquier caso, es importante destacar que una parte (tal y como se verá con posterioridad) de las características asociadas al objeto de aprendizaje de partida se transfieren al derivado como consecuencia del proceso de traducción. En el caso de la relación *is version of* pueden haber cambios en los contenidos y características asociadas al nuevo objeto de aprendizaje obtenido, pero se trata de cambios menores. En consecuencia, el nuevo objeto de aprendizaje constituye una copia bastante fiel, quizá mejorada, del de partida. Sin embargo, en el caso de la relación *is based on*, existe una ruptura entre el objeto de aprendizaje de partida y el nuevo objeto de aprendizaje que se obtiene puesto que, atendiendo a la definición de LOM (véase la tabla 4.3 de la subsección 4.3.1), se aplica un proceso de adaptación e interpretación, de tal manera que pueden ser considerados

| | | G1 | | | | G2 | G3 | G4 |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| | <i>is based on / is basis for</i> | <i>is version of / has version</i> | <i>is format of / has format</i> | <i>is translation of / has translation</i> | <i>is part of / has part</i> | <i>materialization of / materialized by</i> | <i>references / is referenced by</i> | <i>requires / is required by</i> |
| Reflexiva $\forall x \in \mathcal{C} \ x\mathcal{R}x$ | | | | | | N.A. | | ✓ |
| Antirreflexiva $\forall x \in \mathcal{C} \ \neg x\mathcal{R}x$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | N.A. | | |
| Simétrica $\forall x, y \in \mathcal{C} \ x\mathcal{R}y \Rightarrow y\mathcal{R}x$ | | | | | | N.A. | | |
| Antisimétrica $\forall x, y \in \mathcal{C} \ x\mathcal{R}y \wedge y\mathcal{R}x \Rightarrow x = y$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | N.A. | | ✓ |
| Asimétrica $\forall x, y \in \mathcal{C} \ x\mathcal{R}y \Rightarrow \neg y\mathcal{R}x$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | N.A. | | |
| Transitiva $\forall x, y, z \in \mathcal{C} \ x\mathcal{R}y \wedge y\mathcal{R}z \Rightarrow x\mathcal{R}z$ | | ✓ | ✓ | | ✓ | N.A. | | ✓ |
| Antitransitiva $\forall x, y, z \in \mathcal{C} \ x\mathcal{R}y \wedge y\mathcal{R}z \Rightarrow \neg x\mathcal{R}z$ | | | | | | N.A. | | |

Tabla 4.6: Propiedades de las relaciones

objetos de aprendizaje completamente diferentes desde un punto de vista conceptual. Ambos pueden evolucionar de manera independiente, creando, por ejemplo, sus propios objetos de aprendizaje traducción y versión. Con respecto a los objetos de aprendizaje que pueden participar en cada relación se deduce que, en la relación *is format of*, únicamente pueden participar los de concreción. Por su parte las relaciones *is based on*, *is version of* e *is translation of* únicamente necesitan ser declaradas a nivel de objetos de aprendizaje conceptual. Para finalizar, es importante destacar que estas relaciones también deberían considerar aspectos legales relativos a derechos de la propiedad intelectual y posibles licencias de uso, de tal manera que se garantice que el desarrollo de obras derivadas (si éste es posible) se ajuste a las condiciones especificadas en los objetos de aprendizaje de partida.

El grupo 2, por su parte, también incorpora dos relaciones. Estas relaciones son las relaciones *is part of* y *materialization of*. La relación *is part of* recoge todas las acepciones expresadas en el grupo 2, a excepción de la acepción de inclusión por materialización, y es aplicable (con ciertas limitaciones que se discutirán con posterioridad) a cualquier par de objetos de aprendizaje. La acepción de inclusión por materialización queda recogida por la relación *materialization of*. Esta relación, tal y como se ha

presentado en la subsección 4.2.1, permite asociar un objeto de aprendizaje conceptual con sus diferentes concreciones o representaciones finales. La aplicación de esta relación implica que todas las características (recuérdese que dichas características quedan recogidas mediante metadatos) asociadas al objeto de aprendizaje conceptual también son parte constituyente de todos y cada uno de sus objetos de aprendizaje concreción. Finalmente, los grupos 3 y 4 incorporan, respectivamente, una única relación.

Por su parte, en relación al punto 2 (determinación de las propiedades asociadas a las relaciones) del proceso, la tabla 4.6 resume las propiedades asociadas a cada una de las relaciones propuestas. Es importante destacar que las propiedades no son aplicables (esto en la tabla queda representado como N.A.) a la relación *materialization of*, dado que los participantes en la relación pertenecen a conjuntos de elementos que son disjuntos (objetos de aprendizaje conceptuales y concreción, respectivamente). Por su parte, a la relación *references* no se le asigna ninguna propiedad, esto implica que se considera que un objeto de aprendizaje puede (o no) referenciarse a si mismo, y que también se pueden producir referencias cruzadas entre objetos de aprendizaje, aunque esto último únicamente será posible cuando su proceso de creación sea simultáneo en el tiempo. El resto de relaciones (a excepción de las relaciones *is part of* y *requires*) son relaciones asimétricas. Adicionalmente, las relaciones *is version of*, *is format of*, *is part of* y *requires* son relaciones de orden, en algunos casos de orden estricto (*is version of* e *is format of*).

Una vez determinadas los grupos de relaciones y sus propiedades, es posible pasar a los puntos 3, 4 y 5 (búsqueda, identificación y selección de relaciones relevantes) del proceso para determinar la taxonomía de relaciones. Antes de proceder a las explicaciones, es importante destacar el hecho de que una relación cumpla una determinada propiedad, no implica necesariamente que sus relaciones subtipo también la tengan que cumplir. Que una relación R' sea subtipo de otra relación R significa que, desde un punto de vista semántico, R' restringe el significado de R . Esto causa que se cumplan las siguientes condiciones (Olivé 2007):

1. Existe una restricción de inclusión entre las instancias de la relación R' y las instancias de la relación R , de tal manera que toda instancia de la relación R' siempre va a estar incluida entre las instancias de R . Obviamente, R puede incorporar instancias adicionales no incluidas en R' .

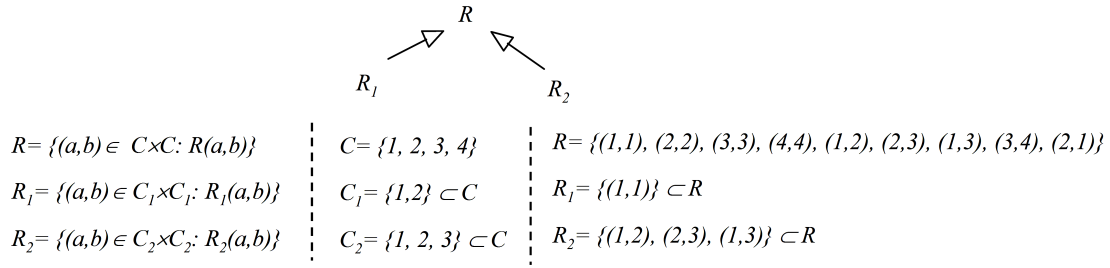


Figura 4.12: Ejemplo de taxonomía de relaciones y sus propiedades

2. Existe una correspondencia entre cada participante p'_i de R' y p_i de R , tal que o bien p'_i y p_i son del mismo tipo, o bien el tipo de p'_i es un subtipo del de p_i .

El ejemplo de la figura 4.12 ilustra las condiciones previas, usando una notación basada en pares ordenados para representar las relaciones. Más concretamente, se muestran dos relaciones R_1 y R_2 que son subtipo de una relación R . Los participantes en relación R son elementos del conjunto C , mientras que los participantes en R_1 y R_2 son elementos de los conjuntos C_1 y C_2 . La relación R únicamente verifica la propiedad reflexiva. Por su parte, R_1 no verifica ninguna propiedad, mientras que R_2 verifica las propiedades asimétrica y transitiva. A pesar de ello, R_1 y R_2 son relaciones subtipo de R , dado que las instancias de las relaciones R_1 y R_2 están incluidas en las instancias de R (condición 1) y los participantes en las relaciones R_1 y R_2 están incluidos en los participantes de R (condición 2).

El ejemplo muestra que las propiedades presentadas en la tabla 4.6 no siempre restringen el espacio de valores válidos y, en consecuencia, no siempre son restricciones de integridad. Únicamente aquellas propiedades que restringen el conjunto de instancias válidas para una relación, serán las que descendan por la taxonomía de relaciones, desde relaciones genéricas a relaciones más específicas. Estas propiedades son la propiedad antirreflexiva, asimétrica y antitransitiva (Miliauskaite & Nemuraite 2005).

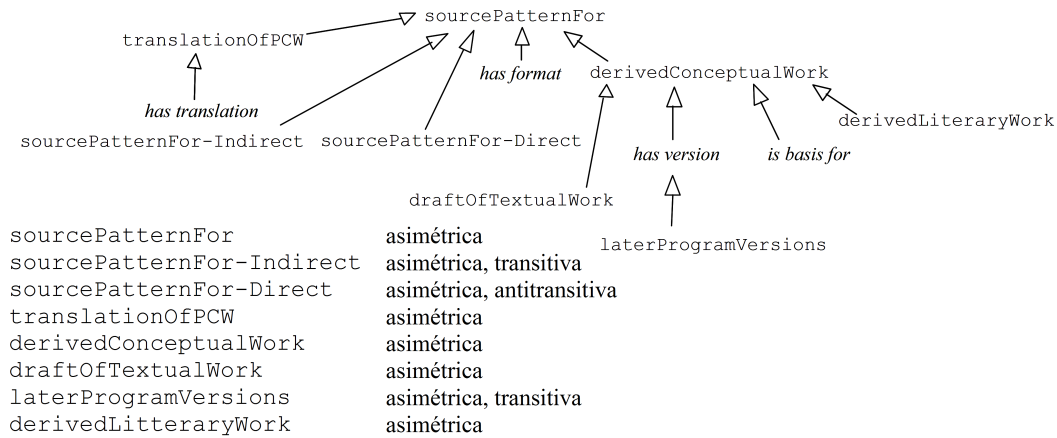


Figura 4.13: Taxonomía de relaciones grupo 1

Ahora sí, siguiendo con los puntos 3, 4 y 5 del proceso para determinar la taxonomía de las relaciones, es posible formular consultas en OpenCyc que siguen la semántica deseada. A modo de ejemplo, la siguiente consulta general retorna las relaciones (predicados, en terminología de OpenCyc) que se ajustarían a la semántica del grupo 1:

```
(#$isa ?R #$$$AsymmetricBinaryPredicate)
```

La consulta previa retorna del orden de 900 relaciones. Un análisis grosso modo permite detectar relaciones de interés, algunas de ellas son específicas (relaciones que tienen que ver con versiones software como sería el caso de la relación `laterProgramVersions`) o relaciones genéricas como `sourcePatternFor` o `derivedConceptualWork`. De hecho, entre las dos últimas relaciones, la más genérica es la relación `sourcePatternFor`². Esta relación permite definir que algo (el primer participante en la relación) es el patrón fuente para otra cosa (el segundo participante en la relación).

Una segunda consulta, como la que se presenta a continuación, recupera las relaciones subtipo de la relación `sourcePatternFor`:

```
(#$genlPreds ?R #$$$sourcePatternFor)
```

En este caso, la consulta previa retorna 10 respuestas, de las cuáles prácticamente todas son aplicables en el contexto de objetos de aprendizaje. La organización taxonómica de estas relaciones que resulta de aplicar el punto 5 del proceso, se muestra

²Recuérdese que en el apéndice A se incluyen las definiciones que proporciona OpenCyc para los diversos conceptos de interés para este trabajo de tesis.

en la figura 4.13 conjuntamente con las propiedades que verifican las propiedades añadidas. La figura también muestra que las relaciones de LOM *has version*, *has format* e *is basis for* no encuentran correspondencia exacta con relaciones de OpenCyc, aunque en el caso de la primera se ha encontrado una relación más específica. Para *has version* se ha encontrado la relación `laterProgramVersions` que permite registrar la evolución de versiones de objetos software. Esta relación es útil, dado que en la subsección 4.2.3 se ha determinado que un objeto de aprendizaje software puede ser visto desde un punto de vista instruccional en entornos de aprendizaje TIC. Finalmente, la relación *has translation*, añadida para gestionar la traducción de objetos de aprendizaje, es subtipo de la relación de OpenCyc `translationOfPCW`, dado que `translationOfPCW` permite que la traducción se genere a partir de la consulta y uso de diversas fuentes.

Con respecto a las relaciones inversas de las relaciones presentadas, es importante destacar que éstas no están definidas en OpenCyc. Lo único que OpenCyc define es que estas relaciones están generalizadas en un predicado inverso genérico a través de una relación taxonómica, más concretamente, a través de una relación de generalización inversa que, en términos de OpenCyc, se denomina `genlsInverse`. Atendiendo a esta relación taxonómica, la relación `sourcePatternFor` (y sus relaciones subtipo) quedan generalizadas en una inversa genérica denominada `correlatedStructures`. Por lo tanto, si se desea crear una taxonomía para las relaciones inversas, ésta se deberá crear desde cero. Es importante destacar que esta taxonomía será isomorfa a la taxonomía presentada en la figura 4.13. Las relaciones inversas a las del grupo 1 presentadas en la taxonomía 4.13 se muestran en la tabla 4.7.

Siguiendo con el proceso para derivar la taxonomía de relaciones, a continuación se describe la estrategia aplicada para recuperar las relaciones pertenecientes al grupo 2. De manera más específica, la consulta que se muestra a continuación permite encontrar relaciones (en concreto, 340 relaciones) que podrían ajustarse a la semántica de la relación *is part of*, de acuerdo a la tabla 4.6:

```
(#$and
  ($isa ?R #$AntiSymmetricBinaryPredicate)
  ($isa ?R #$TransitiveBinaryPredicate))
```

Entre las relaciones encontradas, está la relación genérica `parts` que a su vez es instancia de la metaclase `PartPredicate`. Esta relación permite, en palabras de OpenCyc,

| Relación | Relación inversa |
|---------------------------|---------------------------|
| sourcePatternFor | hasSourcePattern |
| translationOfPCW | isTranslationOfPCW |
| <i>has translation</i> | <i>is translation of</i> |
| <i>has format</i> | <i>is format of</i> |
| sourcePatternFor-Indirect | hasSourcePattern-Indirect |
| sourcePatternFor-Direct | hasSourcePattern-Direct |
| derivedConceptualWork | conceptualWorkDerivedFrom |
| draftOfTextualWork | workHasDraft |
| <i>has version</i> | <i>is version of</i> |
| laterProgramVersions | earlierProgramVersions |
| <i>is basis for</i> | <i>is based on</i> |
| derivedLiteraryWork | literaryWorkDerivedFrom |

Tabla 4.7: Relaciones inversas asociadas a la taxonomía de relaciones grupo 1

relacionar individuos (tangibles, intangibles o parcialmente tangibles) con sus partes individuales (tangibles o intangibles), y debe ser entendida en un sentido muy amplio, incluyendo partes espaciales, partes temporales, partes conceptuales y miembros de grupos. El primer participante en la relación es el individuo que juega el papel de todo, mientras que el segundo participante es el individuo parte. En consecuencia, la relación **parts** se relacionaría con la relación *has part* (relación inversa a *is part of*).

Es importante destacar que la organización de relaciones parte-todo en OpenCyc es bastante similar a la presentada en Chaffin & Herrmann (1988). Para hacerse una idea de la magnitud, la consulta sobre las relaciones subtipo de la relación **parts**:

```
(#$genlPreds ?R #$parts)
```

Recupera algo más de 600 relaciones. La diferencia en el número de respuestas entre ambas consultas (340 contra 600) se debe al hecho que pueden existir relaciones subtipo de la relación **parts** que no verifiquen alguna (incluso quizá ninguna) de las propiedades indicadas en la primera consulta, puesto que, tal y como se ha argumentado con anterioridad, las propiedades antisimétrica y transitiva no necesariamente descienden, en este caso particular, por la jerarquía de herencia asociada a la relación **parts**.

Para intentar reducir el espacio de búsqueda, es necesario consultar la jerarquía de herencia asociada a la metaclase **PartPredicate**. Entre las metaclases subclase de **PartPredicate** existen dos metaclases de interés, **ProperPartPredicate** y **NonPhysicalPartPredicate**, que no son disjuntas entre sí. La metaclase **NonPhysicalPartPredicate**

contiene relaciones (en concreto 85) que permiten definir cuáles son las partes no tangibles de un todo (intangible o parcialmente tangible) que al menos contiene una parte que es intangible. El examen de las relaciones que pertenecen a esta metaclase arroja como relación más general la relación `intangibleParts`. Por su parte, la metaclase `ProperPartPredicate` contiene como instancias relaciones (en concreto 13) que permiten definir cuáles son las partes (tangibles o intangibles) de un todo (tangible, intangible o parcialmente tangible), forzando que cada parte que se integra en un todo sea diferente al todo. En consecuencia, las relaciones de esta metaclase al menos cumplen la propiedad antirreflexiva. El análisis de las relaciones de esta metaclase permite localizar como relación más genérica la relación `properParts`. Evidentemente, las relaciones `properParts` y `intangibleParts` son subtipo de la relación `parts`.

El examen de las jerarquías de herencia asociadas a las relaciones `intangibleParts` y `properParts` permite localizar diversas relaciones de interés en el ámbito de los objetos de aprendizaje. La organización taxonómica de estas relaciones, así como las propiedades asociadas a cada una de estas relaciones, se muestran en la figura 4.14. Más concretamente, la figura muestra que la relación de OpenCyc `parts` permite capturar todas las acepciones asociadas al grupo 2.

Por otro lado, en la jerarquía de herencia asociada a la relación `intangibleParts`, tanto se encuentran relaciones que permiten indicar las partes intangibles que componen un todo parcialmente tangible, como relaciones que sirven para definir las partes intangibles de un todo intangible. Entre las primeras está la relación `instantiationOfWork` que se corresponde a la relación *materialization of*, permitiendo capturar la semántica asociada a la inclusión por materialización de partes intangibles en un todo parcialmente tangible. Entre las segundas, la relación `subInformation` es la más genérica que permite capturar la agregación de partes intangibles en todos que también son intangibles. Esta relación tiene como relación especializada la relación `subWorks` que restringe que los participantes en la relación sean instancias de la clase de OpenCyc `ConceptualWork`. Dado que, tal y como se ha presentado en la subsección 4.2.1, la clase *Conceptual LO* es subclase de `ConceptualWork`, el uso de la relación `subWorks` será preferible al de la relación `subInformation`. Entre las relaciones subtipo de la relación `subWorks` está la relación *compositeSubInformation* (en la figura 4.14, esta relación aparece encuadrada por un rectángulo de línea discontinua), que no existe en OpenCyc. Esta relación se ha añadido a la taxonomía para capturar la agregación por composición en el ámbito de los

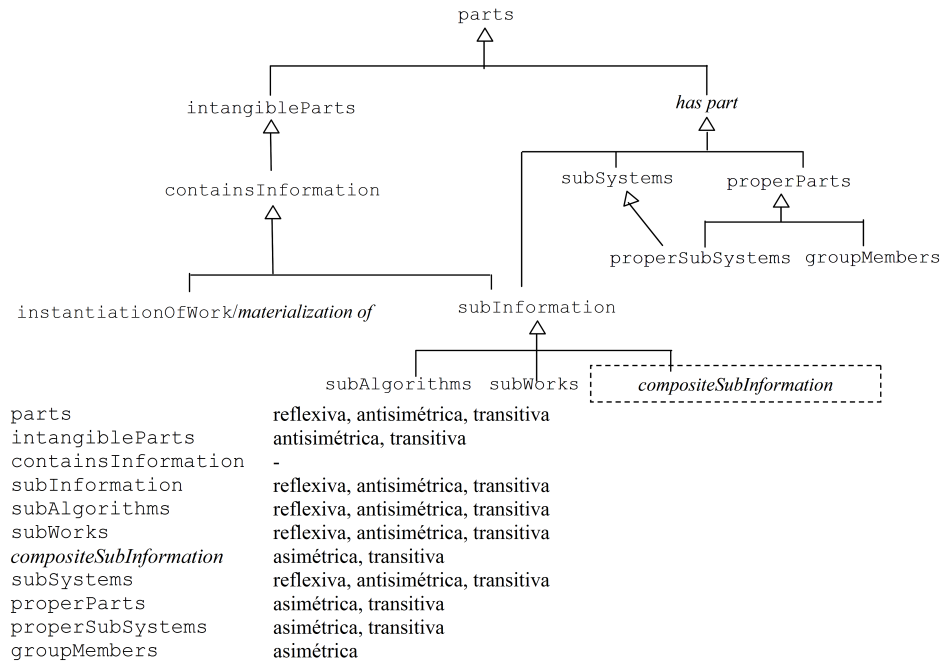


Figura 4.14: Taxonomía de relaciones grupo 2

objetos de aprendizaje, dado que la semántica de su relación supertipo **subInformation** no incluye el hecho que cada parte esté incluida, a lo sumo, en un único todo.

Por su parte, la jerarquía de herencia asociada a **properParts** incluye la relación genérica **groupMembers**. Esta relación, aplicada al dominio de los objetos de aprendizaje, permite capturar la semántica de creación de objetos de aprendizaje compuestos por agrupación. Esta relación no verifica la propiedad transitiva.

La figura 4.14 también muestra que la relación *has part* de LOM no encuentra correspondencia exacta con ninguna de las relaciones de OpenCyc. De entre todas las relaciones incluidas en la taxonomía, las que presentan un significado más aproximado son las relaciones **parts** y **properParts**. De hecho, la relación *has part* es relación subtipo de la relación **parts** y relación supertipo de la relación **properParts**. Esto se debe, en primer lugar, a que la relación *has part*, a diferencia de la relación **parts**, no fuerza el cumplimiento de la propiedad reflexiva, ni tampoco captura la semántica de inclusión por materialización. En consecuencia, la relación *has part* es más específica que la relación **parts**. Por otro lado, la relación *has part* no fuerza la propiedad anti-reflexiva siendo, en consecuencia, su semántica más general que la semántica que tiene

| Relación | Relación inversa |
|---|------------------------------------|
| parts | isPart |
| intangibleParts | isIntangiblePartOf |
| <i>has part</i> | <i>is part of</i> |
| containsInformation | containedInformationIn |
| <i>materialization of (instantiationOfWork)</i> | <i>is materialized by</i> |
| subInformation | isSubInformationOf |
| subAlgorithms | isSubAlgorithmOf |
| subWorks | isSubWorkOf |
| <i>compositeSubInformation</i> | <i>isCompositeSubInformationOf</i> |
| subSystem | isSubSystemOf |
| properParts | isProperPartOf |
| properSubSystems | isProperSubSystemOf |
| groupMembers | isMemberOfGroup |

Tabla 4.8: Relaciones inversas asociadas a la taxonomía de relaciones grupo 2

asociada la relación **properParts**. Finalmente, además de las relaciones previamente presentadas, la taxonomía incluye otras susceptibles de ser de interés en entornos de aprendizaje relativos a las TIC.

Con respecto a las relaciones inversas a las presentadas en este segundo grupo, es importante destacar que éstas, al igual que las inversas asociadas a la taxonomía de relaciones del grupo 1, no se encuentran definidas en OpenCyc, más allá de la definición de la relación inversa que generaliza (a través de la relación taxonómica **genlsInverse**) la relación **parts** y sus relaciones subtipo. Esta relación es la relación **broaderTerm**. Las relaciones inversas a las relaciones del grupo 2 presentadas en la taxonomía 4.14 se muestran en la tabla 4.8.

En relación al grupo 3, no se han encontrado en OpenCyc relaciones que tengan correspondencia exacta con la relación de LOM *references*. El proceso de búsqueda, dado que la relación no cumple ninguna de las propiedades indicadas en la tabla 4.6, ha sido más laborioso. La relación **containsInformationAbout** permite expresar que algo (X) contiene información que trata sobre otra cosa (Y), sin forzar a que Y sea mencionada explícitamente en X , siendo X el primer participante en la relación e Y el segundo. Por lo tanto, la semántica de la relación **containsInformationAbout** es más general que la semántica asociada a la relación *references*. El examen de sus relaciones subtipo ha permitido encontrar algunas relaciones de interés, en concre-

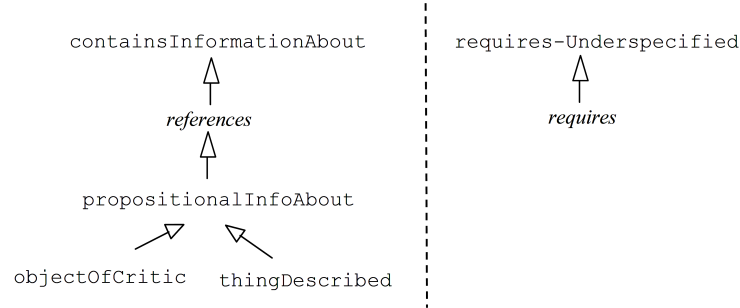


Figura 4.15: Taxonomía de relaciones grupos 3 y 4

to la relación **propositionalInfoAbout**. Esta relación permite definir que algo (X) contiene información, considerada cierta en el contexto de X , sobre Y , obligando, además, que Y sea mencionada explícitamente en X . Esta relación, al contrario que **containsInformationAbout**, es más restrictiva que *references*, dado que LOM no menciona nada respecto a la obligación de citar expresamente el objeto de aprendizaje referenciado. Por lo tanto, tal y como se muestra en la figura 4.15, la relación *references* ha sido añadida a la taxonomía como relación subtipo de **containsInformationAbout** y como relación supertipo de **propositionalInfoAbout**. Adicionalmente, la taxonomía añade dos nuevas relaciones subtipo de **propositionalInfoAbout** que pueden ser de interés en el ámbito de los objetos de aprendizaje, en concreto las relaciones **objectOfCritic** y **thingDescribed**. Ninguna de las relaciones añadidas verifica propiedades como las reseñadas en la tabla 4.6. Es importante destacar que ni la relación **containsInformationAbout**, ni sus relaciones subtipo, comparten jerarquía de herencia con la relación **containsInformation** (véase la figura 4.14) de la taxonomía de relaciones pertenecientes al grupo 2, a pesar de tener nombres similares.

Las relaciones inversas a las presentadas en la taxonomía asociada al grupo 3 se muestran en la tabla 4.9. De manera análoga a los grupos 1 y 2, estas relaciones no se hayan definidas en OpenCyc. Además, y a diferencia de los grupos anteriores, no existe una relación inversa que generalice ninguna de las relaciones mostradas en la figura 4.15.

Finalmente, en relación al grupo 4, destacar que tampoco se han encontrado relaciones en OpenCyc que se ajusten a la semántica asociada a la relación de LOM *requires*. Entre las respuestas a la primera consulta se localizan algunas relaciones que sugieren necesidad, precondition y requisito, como por ejemplo, **requiresOperatingSystem**. Un análisis detallado a partir de esta relación, navegando en su jerarquía de especializa-

| Grupo 3 | |
|---------------------------------------|--|
| Relación | Relación inversa |
| <code>containsInformationAbout</code> | <code>containedInformationAboutIn</code> |
| <i>references</i> | <i>is referenced by</i> |
| <code>propositionalInfoAbout</code> | <code>containedPropositionalInformationIn</code> |
| <code>objectOfCritique</code> | <code>objectCritiquedBy</code> |
| <code>thingDescribed</code> | <code>thingDescribedBy</code> |
| Grupo 4 | |
| Relación | Relación inversa |
| <code>requires-Underspecified</code> | <code>requiredBy-Underspecified</code> |
| <i>requires</i> | <i>required by</i> |

Tabla 4.9: Relaciones inversas asociadas a las taxonomías de relaciones grupos 3 y 4

ción hacia relaciones más genéricas, y desde éstas a otras más específicas, ha resultado infructuosa. Algunos ejemplos de estas relaciones, serían `requiresPeripherals`, `requiresDiscSpace`, `requiresMemory`, `taskDependsOn`, `preconditionForMethod`, `necessaryForAchieving`, etc. Las relaciones que permiten definir requisitos hardware y software podrían ser utilizadas dentro de la categoría 4. *Technical* de LOM como correspondencias al metadato 4.4 *Requirement*. Por su parte, el resto de relaciones de ejemplo, podrían ser de interés para contextualizar el uso de los objetos de aprendizaje dentro de una experiencia educativa, pero no son de utilidad en la descripción de los objetos de aprendizaje de acuerdo a LOM. Por lo tanto, tal y como muestra la figura 4.15, la relación *requires* debe ser añadida a la taxonomía de relaciones como subtipo de la relación genérica `requires-Underspecified` que, en última instancia, es la relación que generaliza todas las relaciones de ejemplo que se han mostrado. La relación inversa a la relación *requires* se muestra en la tabla 4.9.

La taxonomía de relaciones presentada hasta este punto únicamente contempla relaciones binarias. En la subsección 4.3.2 se ha presentado la necesidad de incorporar la relación ternaria *previous* (y su inversa *next*) para poder definir cómo se organizan los objetos de aprendizaje que forman parte de un compuesto por agrupación, agregación o composición, si éstos son instancia de las clases *Networked LO*, *Hierarchical LO* o *Linear LO* (esta jerarquía de objetos de aprendizaje se ha presentado en la subsección 4.2.2). La relación *previous* constituye una relación de orden estricto. Una consulta de la metaclass de OpenCyc que tiene como instancias predicados ternarios de orden (metaclass `TernaryOrderingPredicate`), permite recuperar la relación genérica `occursBeforeInOrdering`. Mediante esta relación, es posible definir que una

cosa (una instancia de la clase de OpenCyc `Thing`) precede a otra cosa (instancia de la clase `Thing`) en una estructura relacional (instancia de la clase `RelationalStructure`). Dado que las clases *Networked LO*, *Hierarchical LO* y *Linear LO* son subclase de la clase `RelationalStructure`, es posible concluir que la relación *previous* es subtipo de la relación `occursBeforeInOrdering`, dado que se trata de una relación de orden estricto.

Para acabar esta subsección, simplemente destacar que la taxonomía propuesta garantiza la interoperabilidad con implementaciones que usen las relaciones propuestas por LOM. Es más, a través del uso de relaciones más específicas obtenidas como refinamiento de las relaciones de LOM, sería posible mejorar la expresividad semántica en la definición de las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje. De cara al intercambio de metadatos con implementaciones que usen el esquema base de LOM, no será posible ofrecer información sobre relaciones ternarias (dado que LOM no permite su definición), ni tampoco sobre que objetos de aprendizaje son traducción de otros o sobre los que presentan unos mismos contenidos pero representados en diferentes formatos, dado que las relaciones *has translation* y *materialization of* no quedan generalizadas en ninguna de las relaciones propuestas por LOM. A pesar de ello, la información relativa a estas cuestiones se podría transformar en descripciones orientadas a las personas que utilicen los objetos de aprendizaje.

4.3.4. Restricciones de integridad sobre relaciones

En esta subsección se presentan las restricciones de integridad que regulan el uso de relaciones entre los objetos de aprendizaje. Algunas de estas restricciones de integridad serán específicas del universo de discurso que se pretende modelar, que no es otro que el de la gestión de los objetos de aprendizaje, mientras que otras serán consecuencia de las propiedades asociadas a las relaciones (estas propiedades se incluyen en la tabla 4.6 de la subsección 4.3.3).

Entre las restricciones de integridad específicas al universo de discurso que se pretende modelar, están los refinamientos de las relaciones anteriormente presentadas en función de los objetos de aprendizaje que participan en las mismas. En algunos casos, el refinamiento consiste en la redefinición de la relación a utilizar. Además, también existen restricciones de integridad que tienen que ver con la creación de derivados (principalmente por traducción o versión), y con la creación de objetos de aprendizaje

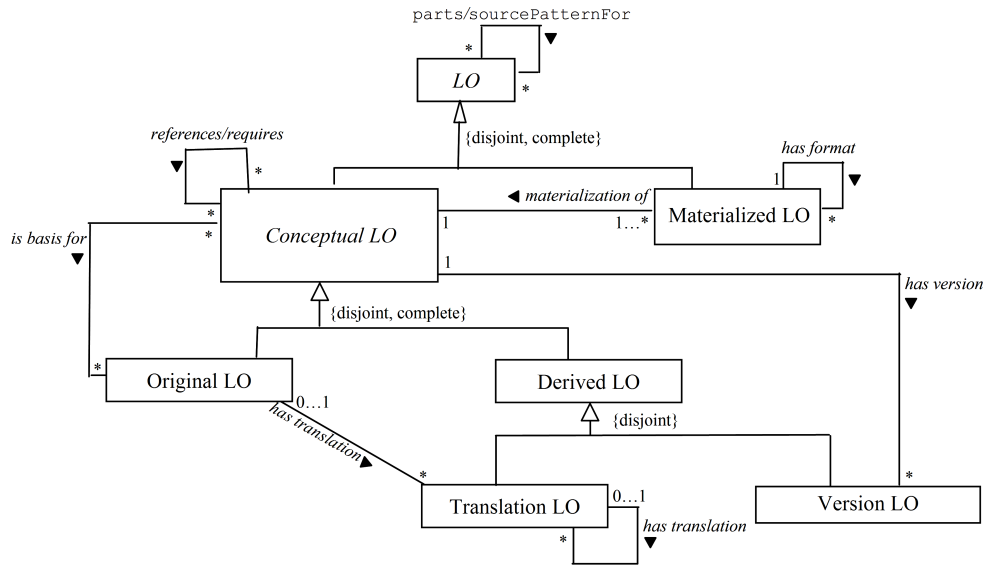


Figura 4.16: Participación de los objetos de aprendizaje en las relaciones

compuestos. En el caso de creación de objetos de aprendizaje derivados, se asume que dicha creación verifica las posibles restricciones que se deriven de derechos de la propiedad intelectual, de tal manera que no se proponen restricciones de integridad relativas a este tema. Finalmente, es importante destacar que también existen restricciones de integridad que permiten especificar condiciones sobre los metadatos de los objetos de aprendizaje entre los que se definen relaciones (estas restricciones de integridad serán tratadas a lo largo de la sección 4.4).

A continuación se presenta el primer grupo de restricciones de integridad, las que son específicas del universo de discurso que se pretende modelar. Por su parte, las restricciones de integridad que se derivan de las propiedades asociadas a las relaciones, se presentan al final de la subsección.

Para determinar qué objetos de aprendizaje pueden participar en cada tipo de relación, es necesario recurrir a la especialización presentada en la subsección 4.2.1. Esta participación se muestra en la figura 4.16. En general, las relaciones presentadas en la subsección 4.3.3, únicamente necesitan ser consideradas a nivel de objetos de aprendizaje conceptuales. Las excepciones son las relaciones *has format* (relación subtipo de *sourcePatternFor*) y *parts*.

La relación *has format* únicamente es aplicable en caso que los objetos de aprendizaje participantes en la relación sean objetos de aprendizaje concreción. En el caso de la relación *parts*, o bien participan dos objetos de aprendizaje conceptuales, o bien participan dos de concreción, o bien participan uno conceptual y uno concreción. Cuando los participantes en la relación *parts* sean dos objetos de aprendizaje conceptuales se podrá utilizar la relación *has part* y sus relaciones subtipo (véase la figura 4.14). Si los participantes en la relación son dos objetos de aprendizaje concreción, únicamente se podrá utilizar la relación *has part*.

La relación *has part* (o relaciones subtipo aplicables), usada sobre objetos de aprendizaje conceptuales, permite especificar qué objetos conceptuales se agrupan o se componen (por agregación o composición) en otros conceptuales, con el objetivo de crear un nuevo objeto de aprendizaje conceptual compuesto. Dado que cada objeto de aprendizaje conceptual puede tener asociado uno o varios objetos de aprendizaje concreción que lo materializan, será necesario declarar qué objetos de aprendizaje concreción conforman cada objeto de aprendizaje compuesto concreción mediante la relación *has part*.

Por otra parte, la relación *materialization of* redefine la relación *parts* en el caso que los participantes sean un objeto de aprendizaje conceptual y uno concreción. Esta relación permite definir que un objeto conceptual forma parte del objeto concreción que lo materializa. En consecuencia, todas las relaciones definidas a nivel de objetos de aprendizaje conceptual, también formarán parte de sus correspondientes objetos de aprendizaje concreción, puesto que toda la semántica asociada a un objeto de aprendizaje conceptual queda incluida en sus objetos concreción a través del uso de la relación *materialization of*. Entre esta semántica se incluye, por ejemplo, en el caso de objetos de aprendizaje compuestos, el tipo concreto de relación parte-todo que se establece (agrupación, agregación o agregación por composición), y es por ello que es suficiente el uso de la relación genérica *has part* para especificar los objetos de aprendizaje concreción incluidos en un objeto de aprendizaje compuesto concreción.

La figura 4.16 también muestra, tomando las relaciones del grupo 1 (véase la figura 4.14), que es posible crear versiones de objetos de aprendizaje a partir de objetos de aprendizaje originales y derivados. Por su parte, la creación de nuevos objetos de aprendizaje a partir de otros aplicando un proceso de adaptación o interpretación (relación *is basis for*), se puede acometer desde cualquier tipo de objeto de aprendizaje

conceptual. Sea cual sea el caso, el nuevo objeto de aprendizaje obtenido es un objeto de aprendizaje original. Por su parte, la traducción de objetos de aprendizaje siempre se realiza desde un único objeto de aprendizaje, que puede ser original o traducción. Por otro lado, un objeto de aprendizaje conceptual puede referenciar y requerir diversos objetos de aprendizaje (la figura 4.15 muestra las taxonomías asociadas a estas relaciones que pertenecen, respectivamente, a los grupos 3 y 4). Para acabar, resaltar el hecho que todas estas relaciones únicamente es necesario considerarlas a nivel de objetos de aprendizaje conceptuales, puesto que su semántica se incluye en los objetos de aprendizaje que los materializan mediante la definición de la relación *materialization of*.

A continuación se resumen y se completan las restricciones de integridad que han surgido hasta este punto:

- RI12. Entre dos objetos de aprendizaje concreción no se pueden definir las relaciones (ni sus relaciones subtipo) *has translation*, *is basis for*, *intangibleParts*, *subSystems*, *properParts*, *references* y *requires*.
- RI13. Entre dos objetos de aprendizaje conceptuales no se pueden aplicar las relaciones *has format* y *materialization of*.
- RI14. Entre un objeto de aprendizaje conceptual y un objeto de aprendizaje concreción sólo se puede aplicar la relación (y sus relaciones supertipo) *materialization of*. No pueden existir objetos de aprendizaje conceptuales que no tengan asociado al menos un objeto de aprendizaje concreción. No pueden existir objetos de aprendizaje concreción que no tengan asociado uno conceptual el cual, además, es único.
- RI15. Todo objeto de aprendizaje concreción ($OACR_d$) creado como consecuencia de un proceso de reformato a partir otro objeto de aprendizaje concreción ($OACR_f$) que materializa un objeto de aprendizaje conceptual ($OACP$), también será una materialización del objeto de aprendizaje conceptual $OACP$.
- RI16. Un objeto de aprendizaje traducción (OAT) tiene obligatoriamente asociado un único objeto de aprendizaje fuente (OA_f) a partir del cual se genera. Este objeto de aprendizaje OA_f o es un original o es una traducción.
- RI17. Un objeto de aprendizaje versión (OAV_i) se genera obligatoriamente a partir de un único objeto de aprendizaje fuente (OA_f). Este OA_f o es un objeto de

```

graph TD
    CL[Conceptual LO] -.->|InstanceOf| OACP
    ML[Materialized LO] -.->|InstanceOf| OACRj
    ML -.->|InstanceOf| OACRd
    OACP -->|materialization of| OACRj
    OACRj -->|has format| OACRd
    OACRd -->|materialization of| OACP
  
```

The figure illustrates the axioms of the LO (Logical Ontology) through three diagrams. The top diagram shows the relationships between five LOs: Original LO, Translation LO, Version LO, Derived LO, and Version LO. The bottom-left diagram shows a Version LO box with arrows pointing to it from OAV_{i-1} and OAV_i . The bottom-right diagram shows an Original LO and Translation LO box with arrows pointing to them from OAV_f , and a vertical chain of OAV boxes connected by 'has version' arrows.

Top Diagram: Shows the relationships between five LOs: Original LO, Translation LO, Version LO, Derived LO, and Version LO. The relationships are as follows:

- OAV_f has version OAV_i (solid arrow).
- OAV_f InstanceOf $\{xor\}$ Original LO (dashed arrow).
- OAV_f InstanceOf $\{xor\}$ Translation LO (dashed arrow).
- OAV_f InstanceOf Version LO (dashed arrow).
- OAV_f has version OAV_i (solid arrow).
- $OAV_f \notin \text{Translation LO} \cup \text{Version LO}$ (text below the arrow).

Bottom-Left Diagram: Shows a Version LO box with arrows pointing to it from OAV_{i-1} and OAV_i .

- OAV_{i-1} has version OAV_i (solid arrow).
- OAV_{i-1} InstanceOf Version LO (dashed arrow).
- OAV_i InstanceOf Version LO (dashed arrow).

Bottom-Right Diagram: Shows an Original LO and Translation LO box with arrows pointing to them from OAV_f , and a vertical chain of OAV boxes connected by 'has version' arrows.

- OAV_f has version OAV_i (solid arrow).
- OAV_f InstanceOf $\{xor\}$ Original LO (dashed arrow).
- OAV_f InstanceOf $\{xor\}$ Translation LO (dashed arrow).
- OAV_f has version OAV_{i-1} (solid arrow).
- OAV_{i-1} has version OAV_i (solid arrow).

aprendizaje original –y entonces el OAV_i es la primera versión (OAV_1) del objeto de aprendizaje original–, o es un objeto de aprendizaje traducción –y entonces OAV_i es la primera versión (OAV_1) del objeto de aprendizaje traducción–, o es un objeto de aprendizaje versión OAV_{i-1} –y entonces OAV_i es la i -ésima versión del objeto de aprendizaje original o traducción–, o es un objeto de aprendizaje derivado que no es traducción ni versión –y entonces el OAV_i es la primera versión (OAV_1) del objeto de aprendizaje derivado que no es traducción ni versión–.

145

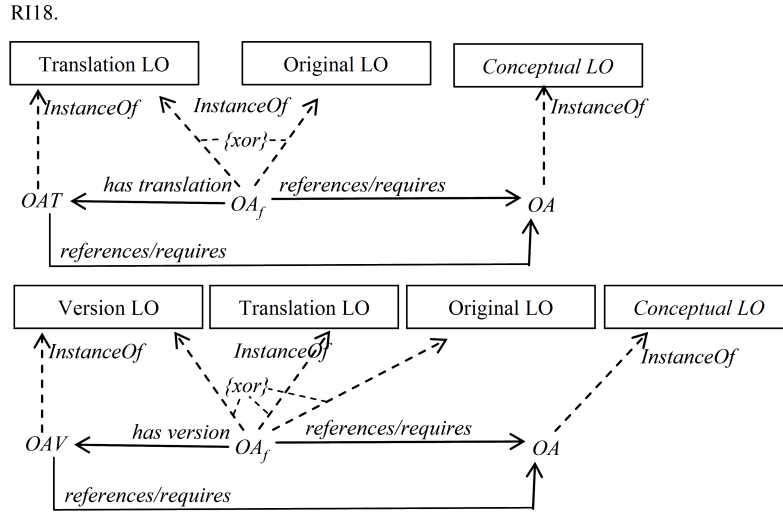


Figura 4.18: Ejemplos de relaciones transferidas a los objetos de aprendizaje derivados traducción y versión de acuerdo a RI18

La creación de obras derivadas traducción y versión tiene asociadas restricciones de integridad adicionales que regulan, por una parte, qué relaciones de los objetos de aprendizaje fuente también tienen que estar presentes en los derivados por traducción y versión, y por otra, cómo se regula la creación de objetos de aprendizaje derivados traducción y versión cuando éstos son compuestos. Con respecto a las relaciones que se transfieren a los objetos de aprendizaje derivados traducción y versión desde los objetos de aprendizaje fuente, se debe cumplir la siguiente restricción de integridad:

- RI18. Todas las relaciones (así como sus relaciones subtipo) *references* y *requires* asociadas al objeto de aprendizaje fuente (OA_f) a partir del cual se crea un nuevo objeto derivado traducción (OAT) o versión (OAV), también son aplicables al nuevo objeto de aprendizaje derivado traducción o versión obtenido.

La figura 4.18 ilustra la transferencia de las relaciones previamente indicadas a los objetos derivados traducción y versión de acuerdo a la restricción de integridad RI18.

Por su parte, en el caso que el objeto de aprendizaje fuente sea compuesto, las restricciones de integridad a añadir son ligeramente diferentes en función de si el objeto de aprendizaje derivado (obviamente, también compuesto) es de tipo traducción o versión. A continuación se definen con más detalle estas nuevas restricciones de integridad:

- RI19. La creación de un nuevo objeto de aprendizaje compuesto traducción (de un idioma origen a un idioma destino) implica la traducción de al menos uno de los

objetos de aprendizaje parte con idioma origen. El objeto compuesto traducción va a incorporar todos los objetos parte traducidos del objeto de aprendizaje compuesto fuente.

- RI20. La creación de un nuevo objeto de aprendizaje compuesto versión implica que al menos uno de los objetos de aprendizaje que conforman el objeto de aprendizaje compuesto fuente ha sido versionado. El objeto de aprendizaje compuesto versión va a incorporar todos los objetos parte versión del objeto de aprendizaje compuesto fuente.
- RI21. El objeto de aprendizaje compuesto derivado traducción o versión define las relaciones *has part* (o relaciones subtipo) correspondientes, de tal manera que tiene tantos objetos de aprendizaje parte como el objeto de aprendizaje compuesto fuente. Estos objetos de aprendizaje parte son los objetos de aprendizaje traducción o versión, más aquellos objetos de aprendizaje parte que no han sido ni traducidos ni versionados.
- RI22. Si existen relaciones de orden entre los objetos de aprendizaje parte en el objeto de aprendizaje compuesto fuente, éstas se transfieren de manera íntegra al objeto de aprendizaje compuesto derivado traducción o versión.

En la figura 4.19 se muestra un ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto traducción (*OACMT*) que verifica las restricciones de integridad RI19 y RI21. El proceso de traducción tiene como idioma origen español y como idioma destino catalán. El objeto de aprendizaje compuesto fuente (*OACM*) incorpora tres objetos de aprendizaje parte en idioma español (*OA1*, *OA2*, *OA3*) que conformarán el objeto compuesto traducción (*OACMT*) convenientemente traducidos a idioma catalán (*OAT1*, *OAT2*, *OAT3*). Los objetos de aprendizaje que son parte del objeto de aprendizaje compuesto fuente *OACM* y que no están en lengua española (en el ejemplo, *OA4*) no se traducen y también forman parte del objeto de aprendizaje compuesto traducción *OACMT*. El objeto de aprendizaje compuesto traducción *OACMT* no incorpora objetos de aprendizaje parte adicionales. La RI22 no es aplicable en el ejemplo de la figura 4.19, puesto que no se han definido relaciones de orden entre los objetos de aprendizaje que conforman el objeto de aprendizaje compuesto fuente *OACM*.

Por su parte, la figura 4.20 muestra el cumplimiento de las restricciones de integridad RI20 y RI21 para el caso de un objeto de aprendizaje compuesto versión

RI9, RI21.

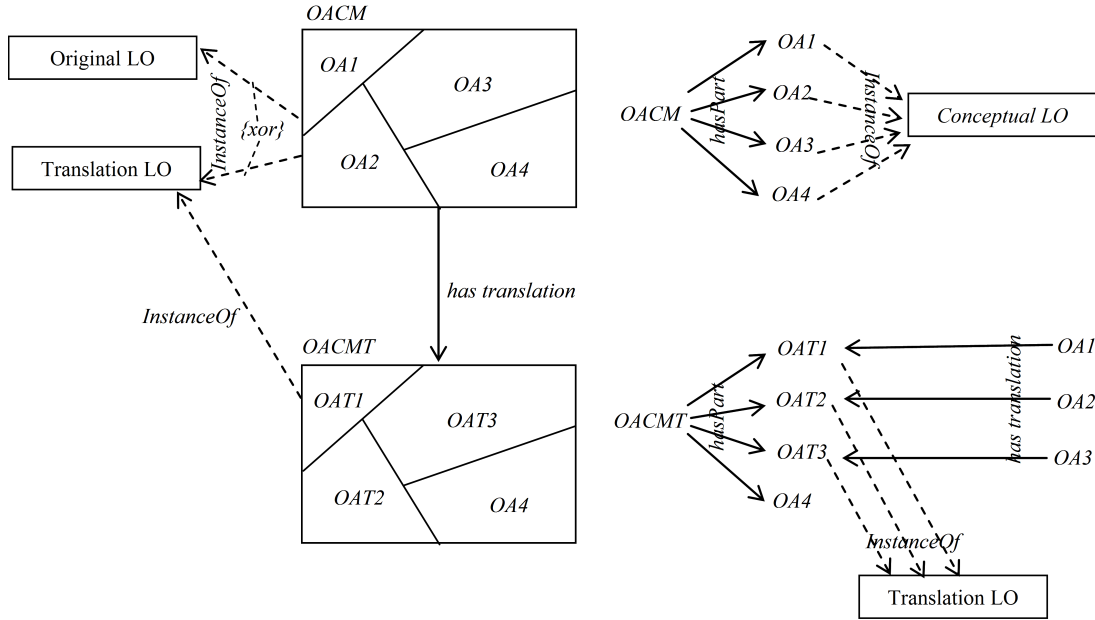


Figura 4.19: Ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto traducción de acuerdo a RI19 y RI21

(OACMV). En este caso, el objeto de aprendizaje compuesto versión (OACMV) incorpora dos objetos de aprendizaje versión (OAV1 y OAV2), más los objetos de aprendizaje parte del objeto de aprendizaje compuesto fuente (OACM) que no han sido versionados (estos objetos de aprendizaje son OA3 y OA4). En el objeto de aprendizaje compuesto versión OACMV no aparecen objetos de aprendizaje que no existan en el objeto de aprendizaje compuesto fuente OACM. De manera análoga al caso anterior, no existen relaciones de orden entre los objetos de aprendizaje que conforman el objeto de aprendizaje compuesto fuente OACM y, en consecuencia, la restricción de integridad RI22 no es aplicable sobre el ejemplo mostrado en la figura 4.20.

El proceso de creación de objetos de aprendizaje concreción que materializan objetos de aprendizaje compuestos conceptuales, también tiene asociado restricciones de integridad similares a las que se han presentado para los objetos de aprendizaje compuestos derivados traducción y versión. Estas restricciones de integridad son las que se indican a continuación:

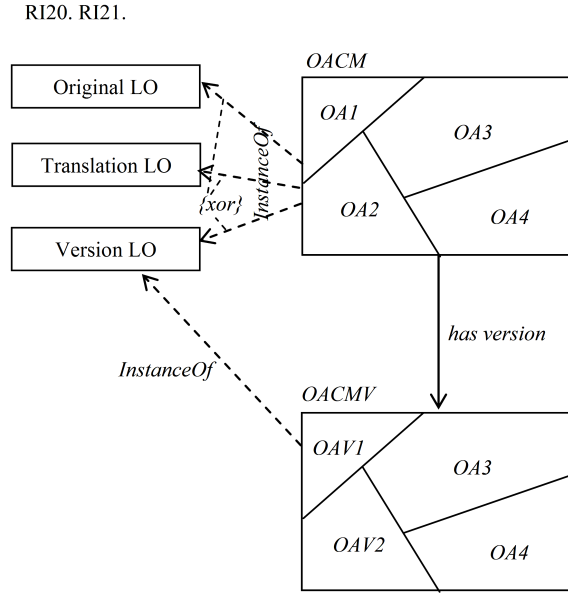


Figura 4.20: Ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto versión de acuerdo a RI20 y RI21

- RI23. Un objeto de aprendizaje concreción compuesto incorpora, para cada objeto de aprendizaje parte que lo conforma, un objeto de aprendizaje –y sólo uno– concreción parte, de entre todos los disponibles.
- RI24. El objeto de aprendizaje compuesto concreción define las relaciones *has part* correspondientes, de tal manera que tiene tantos objetos de aprendizaje concreción parte como el objeto de aprendizaje compuesto conceptual del que constituye una materialización.
- RI25. Si existen relaciones de orden entre los objetos de aprendizaje parte en el objeto de aprendizaje compuesto conceptual, éstas se transfieren de manera íntegra al objeto de aprendizaje compuesto concreción.

La figura 4.21 muestra de manera gráfica dos objetos de aprendizaje compuestos concreción (*OACMCR1* y *OACMCR2*) de un objeto de aprendizaje compuesto conceptual (*OACMCP*) que verifican las restricciones de integridad RI23, RI24 y RI25. Cada uno de los objetos compuestos concreción incorpora todos los objetos de aprendizaje parte definidos en el objeto de aprendizaje conceptual, más específicamente incorpora una (y solo una) de las concreciones disponibles para cada uno de esos objetos de aprendizaje parte (*OA1CR1* y *OA2CR2* en el caso del primer objeto compuesto concreción *OACMCR1*, y *OA1CR2* y *OA2CR2* en el caso del segundo objeto compuesto

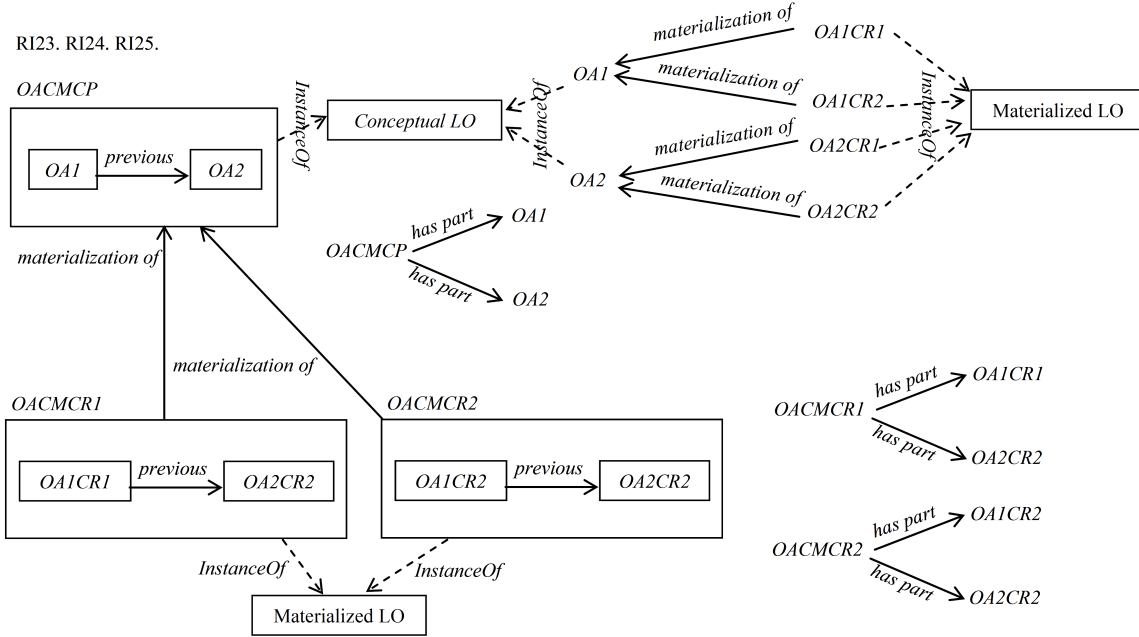


Figura 4.21: Ejemplo de creación de un objeto de aprendizaje compuesto concreción de acuerdo a RI23, RI24 y RI25

concreción *OACMCR2*). Evidentemente, en cada uno de los objetos de aprendizaje compuestos concreción no aparecen objetos de aprendizaje parte no contemplados en el objeto de aprendizaje compuesto conceptual. Por último, la figura 4.21 también muestra como las relaciones de orden presentes en el objeto compuesto conceptual *OACMCP* se transfieren a los objetos compuestos concreción *OACMCR1* y *OACMCR2*.

Con respecto a las restricciones de integridad derivadas por las propiedades asociadas a las relaciones (estas propiedades se muestran en la tabla 4.6 de la subsección 4.3.3), éstas quedan garantizadas mediante la prohibición de que se produzcan ciclos en las cadenas de relaciones en las que participan dos o más objetos de aprendizaje. A continuación se enuncian, en función de los objetos de aprendizaje que participan en las relaciones y del tipo de relación, estas restricciones de integridad:

RI26. No se pueden producir ciclos entre dos o más objetos de aprendizaje conceptuales que participen en relaciones pertenecientes al grupo 1 –relación *sourcePatternFor* y relaciones subtipo, a excepción de la relación *has format*–, al grupo 2 –relación *parts* y relaciones subtipo (a excepción de *materialization of*)– y al grupo 4 –relación *requires*–. Estos ciclos no se pueden producir ni sobre una única relación,

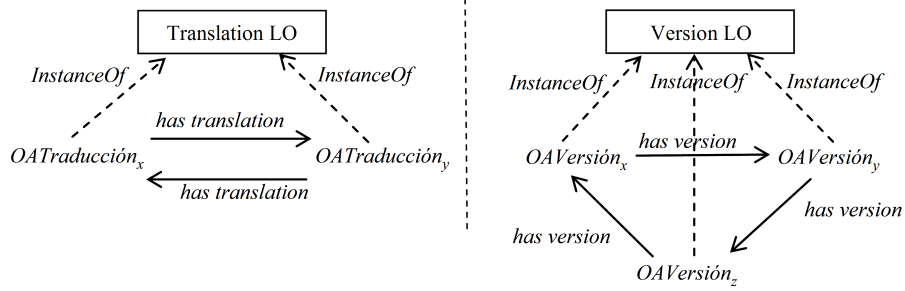


Figura 4.22: Ejemplos de violación de RI26 sobre un mismo tipo de relación

ni sobre relaciones interrelacionadas, es decir, sobre relaciones que pertenezcan a un mismo grupo.

- RI27. No se pueden producir ciclos entre dos o más objetos de aprendizaje concreción que participen en la relación *has format* y en la relación *has part*.
- RI28. Si existen definidas relaciones de orden –relación *previous*– entre los objetos de aprendizaje que conforman un objeto de aprendizaje compuesto –conceptual o concreción–, la cadena de relaciones de orden que se establece entre dichos objetos de aprendizaje no puede tener ciclos. Además, todos los objetos de aprendizaje que participan en las relaciones de orden tienen que ser parte del objeto de aprendizaje compuesto.

En la restricción de integridad RI26 se excluyen ciertas relaciones debido al hecho de que en las mismas no pueden participar dos objetos de aprendizaje conceptuales, tal y como define la restricción de integridad RI13. Por su parte, en el caso de la RI27, únicamente es necesario considerar las relaciones que se indican, dado que son las únicas que, potencialmente, es necesario definir cuando los participantes son dos objetos de aprendizaje concreción, de acuerdo a la restricción de integridad RI12. Es importante destacar la imposibilidad de que se puedan producir ciclos en el uso de la relación *materialization of*, debido a las restricciones que se imponen en los participantes en la relación (un objeto de aprendizaje conceptual y un objeto de aprendizaje concreción, como primer y segundo participante, respectivamente).

Las figuras 4.22 y 4.23 muestran diversos ejemplos de violación de la restricción de integridad RI26 teniendo en cuenta relaciones pertenecientes al grupo 1 (la taxonomía de relaciones asociadas a este grupo se muestra en la figura 4.13). Los ejemplos mostrados serían extrapolables a relaciones pertenecientes al resto de grupos especificados

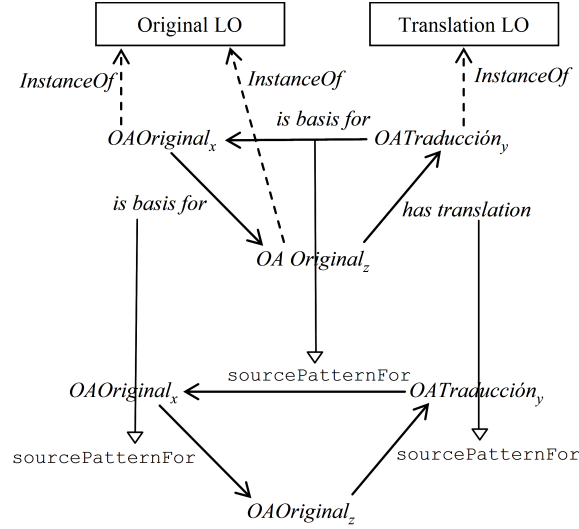


Figura 4.23: Ejemplo de violación de RI26 sobre diferentes relaciones del mismo grupo

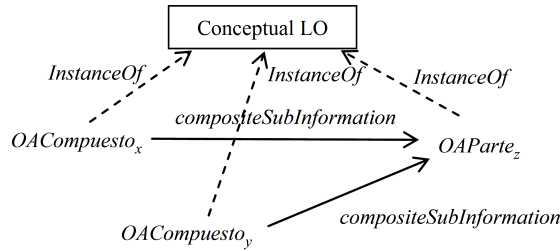


Figura 4.24: Ejemplo de violación de RI29 sobre agregación por composición

en la restricción de integridad RI26 o a las relaciones especificadas en la restricción de integridad RI27.

El primer ejemplo, mostrado en la figura 4.22, presenta un ciclo entre dos objetos de aprendizaje y sobre un mismo tipo de relación, en concreto la relación *has translation*. Por su parte, el segundo ejemplo (véase de nuevo la figura 4.22) muestra un ciclo entre tres objetos de aprendizaje y un mismo tipo de relación, en este caso la relación *has version*. Finalmente, el tercer ejemplo, mostrado en la figura 4.23, presenta un ciclo entre tres objetos de aprendizaje que definen diferentes relaciones (en concreto, las relaciones *is basis for* y *has translation*) pertenecientes al mismo grupo. Cuando estas relaciones se generalizan a la primera relación supertipo común (sobre el ejemplo se trata de la relación **sourcePatternFor**), se produce el ciclo sobre un mismo tipo de relación.

Para acabar la subsección, falta considerar dos restricciones de integridad adicionales. La primera de estas restricciones de integridad está relacionada con la relación añadida al grupo 2 para capturar la semántica asociada a la agregación por composición (relación *compositeSubInformation*). La segunda (y última) restricción de integridad trata sobre relaciones inversas. Estas restricciones de integridad son:

RI29. Un objeto de aprendizaje que se agrega por composición en un objeto de aprendizaje compuesto, simultáneamente en el tiempo, sólo se puede agregar en un único objeto de aprendizaje compuesto. En otras palabras, fijado el objeto de aprendizaje parte, la relación *compositeSubInformation* es funcional.

RI30. Para toda relación definida entre dos objetos de aprendizaje, también existe definida su relación inversa.

Con respecto a la restricción de integridad RI29, destacar que, de manera similar a otras restricciones de integridad, únicamente necesita ser definida a nivel de objetos de aprendizaje conceptuales. La semántica asociada a la relación será transferida a sus objetos de aprendizaje concreción a través de la relación *materialization of* que se establece entre cada objeto de aprendizaje conceptual y todos sus objetos de aprendizaje concreción. La figura 4.24 ilustra, mediante un ejemplo, la violación de esta restricción de integridad. En el ejemplo, se plantea la situación de un objeto de aprendizaje ($OAParte_z$) que simultáneamente se agrega por composición en dos objetos de aprendizaje compuestos ($OACompuesto_x$ y $OACompuesto_y$, respectivamente). Una de las dos relaciones definidas es errónea.

4.4. Propiedades de los objetos de aprendizaje

En esta sección se examinan las propiedades (o metadatos) de los objetos de aprendizaje. El examen se realiza teniendo en cuenta las diferentes categorías propuestas por LOM. Para cada categoría, en primer lugar, se discute la aplicabilidad de los metadatos, en función de la clase (o clases) a la que pertenece el objeto de aprendizaje, de acuerdo a las diferentes jerarquías de especialización presentadas en la sección 4.2. En segundo lugar, se establece si la categoría es obligatoria u opcional en la descripción de los objetos de aprendizaje. Asimismo, para cada categoría, se indican cuáles serían los metadatos de obligada definición. Finalmente, en tercer lugar, se presentan las restricciones de integridad asociadas a cada categoría. Con respecto a las restricciones de

integridad, es importante destacar que éstas pueden obedecer a dos fuentes, tal y como se presenta a continuación:

1. Restricciones de integridad genéricas, es decir, restricciones de integridad que se van a aplicar a todos los objetos de aprendizaje que definan los metadatos de la categoría analizada, con independencia de la clase (o clases) a la que pertenezcan dichos objetos de aprendizaje.
2. Restricciones de integridad específicas a una clase de objetos de aprendizaje, es decir, restricciones de integridad sobre los metadatos de la categoría analizada, que varían en función de la pertenencia del objeto de aprendizaje a una determinada clase.

Antes de proceder a las explicaciones, reseñar que en las subsecciones posteriores se omiten las categorías 3. *Meta-Metadata* y 7. *Relation*. En el caso de la categoría 3. *Meta-Metadata* el examen se posterga a la subsección 4.5.5, dado que esta categoría incluye metadatos que caracterizan los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. En consecuencia, de manera estricta, la categoría no trata sobre propiedades de los objetos de aprendizaje. En el caso de categoría 7. *Relation*, el análisis se ha realizado de manera completa en la subsección 4.3.4. Además, y a diferencia de lo que pasa con las categorías examinadas en esta sección, la categoría 7. *Relation* no incluye metadatos para describir el objeto de aprendizaje a título individual, sino que incorpora metadatos que permiten especificar cómo se relaciona el objeto de aprendizaje con otros objetos de aprendizaje.

4.4.1. Propiedades generales

La categoría 1. *General* de LOM agrupa metadatos que describen el objeto de aprendizaje en su conjunto. Estos metadatos son aplicables a cualquier objeto de aprendizaje, con independencia de la clase (o clases) a las que pertenezca. Se trata de una categoría de uso obligatorio en la descripción de los objetos de aprendizaje que debe incluir, al menos, los metadatos 1.1 *Identifier* y 1.5 *Keyword*. Adicionalmente, en el caso del metadato agregado 1.1 *Identifier* es obligatorio incluir los metadatos que agrega (1.1.1 *Catalog* y 1.1.2 *Entry*).

Todas las restricciones de integridad que afectan a metadatos de esta categoría son específicas dependiendo de la clase (o clases) a las que pertenezcan los objetos de aprendizaje. La especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su nivel de abstracción (véase la subsección 4.2.1) impone las siguientes restricciones de integridad:

- RI31. El título (metadato 1.2 *Title*), idioma (metadato 1.3 *Language*), descripción (metadato 1.4 *Description*), palabras clave (metadato 1.5 *Keywords*), ámbito (metadato 1.6 *Coverage*), estructura (metadato 1.7 *Structure*) y nivel de agregación (metadato 1.8 *Aggregation level*) de cada objeto de aprendizaje concreción son idénticos a los del objeto de aprendizaje conceptual que materializan.
- RI32. La estructura (metadato 1.7 *Structure*) y nivel de agregación (metadato 1.8 *Aggregation level*) de un objeto de aprendizaje derivado traducción son idénticos a la estructura y nivel de agregación del objeto de aprendizaje del cual constituye una traducción.
- RI33. El idioma (metadato 1.3 *Language*), ámbito (metadato 1.6 *Coverage*), estructura (metadato 1.7 *Structure*) y nivel de agregación (metadato 1.8 *Aggregation level*) de un objeto de aprendizaje derivado versión son idénticos al idioma, ámbito, estructura y nivel de agregación del objeto de aprendizaje del cual constituye una versión.

Por su parte, la especialización de objetos de aprendizaje en atómicos y compuestos (presentada en la subsección 4.2.2) impone las restricciones de integridad que se detallan a continuación. Es importante destacar que las restricciones de integridad RI41, RI42, RI43 y RI44 especifican cómo se relacionan los valores asociados a los metadatos 1.7 *Structure* y 1.8 *Aggregation level*.

- RI34. Un objeto de aprendizaje atómico (valor para el metadato 1.7 *Structure*= *Atomic*) no define relaciones *has part* (o relaciones subtipo válidas de acuerdo con las restricciones de integridad presentadas en la subsección 4.3.4) con ningún otro objeto de aprendizaje.
- RI35. Un objeto de aprendizaje compuesto define al menos dos relaciones *has part* (o relaciones subtipo válidas de acuerdo con las restricciones de integridad presentadas en la subsección 4.3.4) con otros objetos de aprendizaje.

- RI36. El idioma (valores del metadato 1.3 *Language*) de un objeto de aprendizaje compuesto es la unión de los idiomas de sus objetos de aprendizaje parte.
- RI37. Un objeto de aprendizaje compuesto colección (valor para el metadato 1.7 *Structure= Collection*) no define relaciones retóricas de orden (relaciones *previous*) entre sus objetos de aprendizaje parte.
- RI38. Un objeto de aprendizaje compuesto en red (valor para el metadato 1.7 *Structure= Networked*) define relaciones retóricas de orden (relaciones *previous*) entre sus objetos de aprendizaje parte que siguen una estructura de grafo dirigido que no contiene ciclos.
- RI39. Un objeto de aprendizaje compuesto jerárquico (valor para el metadato 1.7 *Structure= Hierarchical*) define relaciones retóricas de orden (relaciones *previous*) entre sus objetos de aprendizaje parte que siguen una estructura de árbol.
- RI40. Un objeto de aprendizaje compuesto lineal (valor para el metadato 1.7 *Structure= Linear*) define relaciones retóricas de orden (relaciones *previous*) entre sus objetos de aprendizaje parte que siguen una estructura de lista.
- RI41. Un objeto de aprendizaje atómico tiene un nivel de agregación 1 (valor para el metadato metadato 1.8 *Aggregation level= 1*). Un objeto de aprendizaje con nivel de agregación 1 es atómico.
- RI42. Un objeto de aprendizaje compuesto tiene un nivel de agregación 2 (valor para el metadato metadato 1.8 *Aggregation level= 2*) cuando todos sus objetos de aprendizaje parte tienen un nivel de agregación 1. Un objeto de aprendizaje con nivel de agregación 2 es compuesto.
- RI43. Un objeto de aprendizaje compuesto tiene un nivel de agregación 3 (valor para el metadato metadato *Aggregation level= 3*) cuando al menos existe un objeto de aprendizaje parte con nivel de agregación 2, y no existe ningún objeto de aprendizaje parte con nivel de agregación 3 o 4. Un objeto de aprendizaje con nivel de agregación 3 es compuesto.
- RI44. Un objeto de aprendizaje compuesto tiene un nivel de agregación 4 (valor para el metadato metadato 1.8 *Aggregation level= 4*) cuando al menos existe un objeto de aprendizaje parte con nivel de agregación 3 o 4. Un objeto de aprendizaje con nivel de agregación 4 es compuesto.

4.4.2. Ciclo de vida de los objetos de aprendizaje

La categoría 2. *Life Cycle* incorpora metadatos que describen la historia y estado actual del objeto de aprendizaje, así como aquellas entidades que han afectado su evolución. Los metadatos de esta categoría son aplicables a cualquier objeto de aprendizaje, con independencia de la clase (o clases) a la que pertenece el objeto de aprendizaje. Por las razones que se indican a continuación, no se establece ninguna obligatoriedad sobre el uso de los metadatos de esta categoría en la descripción de los objetos de aprendizaje. A pesar del carácter opcional de los metadatos de esta categoría, en el caso que se utilice el metadato agregado 2.3 *Contribute*, será obligatorio informar el rol (metadato 2.3.1 *Role*) y la entidad o entidades (metadato 2.3.2 *Entity*) responsables de la contribución.

En el contexto de LOM, esta categoría es una de las más ambiguas, sobre todo a efectos de los posibles roles (metadato 2.3.1 *Role*) que contempla en el metadato agregado 2.3 *Contribute*, debido a la falta de explicaciones y ejemplos sobre dichos roles. Por todo ello, en general, se trata de una categoría poco utilizada, más allá de la definición de contribuciones con rol autor (*author*) y editorial (*publisher*) (Friesen 2004a).

Además, la información que se permite representar (por ejemplo, a través del metadato 2.1 *Version*) se solapa parcialmente con metadatos de otras categorías, en concreto la categoría 7. *Relation*. En esta categoría se incorporan relaciones que permiten expresar de manera explícita la evolución de los objetos de aprendizaje a efectos de versiones, tal y como se ha presentado en la sección 4.3. Por los motivos esgrimidos, en este trabajo de tesis, se decide usar la categoría 7. *Relation* para describir dicha evolución en lugar de los metadatos la categoría 2. *Life Cycle*.

Sobre los metadatos de esta categoría es necesario considerar la siguiente restricción genérica, que se deriva de las definiciones proporcionadas en el texto asociado a LOM:

- RI45. Un objeto de aprendizaje deja de estar disponible (valor *unavailable* para el metadato 2.2 *Status*) cuando para el objeto de aprendizaje existe una contribución con rol terminador (valor *terminator* para el metadato 2.3.1 *Role*).

En relación a restricciones de integridad específicas, de acuerdo a la especialización de los objetos de aprendizaje según su nivel de abstracción (presentada en la subsección 4.2.1 existen las siguientes restricciones de integridad:

- RI46. Un objeto de aprendizaje conceptual no puede definir contribuciones con rol diseñador gráfico, implementador técnico y validador técnico (metadato 2.3.1 *Role= graphical designer/techical implementer/tecnhical validator*).
- RI47. Un objeto de aprendizaje conceptual derivado traducción o versión incorpora todas las contribuciones autor y coordinador (valores *author* o *editor* para el metadato 2.3.1 *Role*) definidas en el objeto conceptual del cual constituye una traducción o una versión.
- RI48. Un objeto de aprendizaje concreción incorpora todas y cada una de las contribuciones (metadato 2.3 *Contribute*) existentes en el objeto de aprendizaje conceptual que materializa.
- RI49. Un objeto de aprendizaje concreción no define contribuciones explícitamente declaradas (es decir, proporcionadas por el usuario) que tengan como rol autor o coordinador (valores *author* o *editor* para el metadato 2.3.1 *Role*).

Finalmente, la especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su estructura organizativa interna, impone la siguiente restricción de integridad específica:

- RI50. Un objeto de aprendizaje no puede tener un estado de no disponible (valor *unavailable* para el metadato 2.2 *Status*) si el objeto de aprendizaje forma parte de un objeto de aprendizaje compuesto que está disponible (valor para el metadato 2.2 *Status* diferente a *unavailable* en el objeto de aprendizaje compuesto).

Para acabar, destacar que algunas de las restricciones de integridad expresadas en esta subsección están relacionadas entre sí. Por ejemplo, una de las consecuencias de las restricciones de integridad RI45 y RI48 es que los objetos de aprendizaje concreción dejan de estar disponibles si el objeto de aprendizaje conceptual del cual constituyen una materialización deja de estar disponible. Pero esto no será posible, ni para el objeto de aprendizaje conceptual ni para sus objetos de aprendizaje concreción asociados, de acuerdo a la RI50, si el objeto de aprendizaje forma parte de algún compuesto.

4.4.3. Propiedades técnicas

La categoría 4. *Technical* de LOM incorpora una serie de metadatos que permiten definir las características y los requisitos técnicos asociados a los objetos de aprendizaje. Estos metadatos únicamente serán aplicables a los objetos de aprendizaje concreción, dado que son los que tienen existencia física, más concretamente existencia digital. Por otra parte el metadato 4.7 *Duration* que sirve para especificar, en palabras de LOM, el tiempo que dura un objeto de aprendizaje continuo cuando se reproduce a su velocidad normal, no es aplicable a aquellos objetos de aprendizaje concreción que, de acuerdo a sus características educativas (aspectos de representación, véase la figura 4.7), pertenecen a las clases *Narrative Text LO*, *Table LO* o *Still Image LO*.

La categoría 4. *Technical* es de uso obligatorio en la descripción de los objetos de aprendizaje concreción. Más específicamente, los metadatos 4.1 *Format* y 4.3 *Location* son de obligado cumplimiento. Estos metadatos definen, respectivamente, el tipo o tipos de datos usados en la representación (o codificación) del objeto de aprendizaje concreción y el lugar (o lugares) dónde éste está físicamente almacenado. Adicionalmente, en el caso que se defina el metadato agregado 4.4.1 *OrComposite* (este metadato permite especificar un grupo de requisitos a satisfacer para poder utilizar el objeto de aprendizaje concreción), será obligatorio definir el tipo (metadato 4.4.1.1 *Type*) y nombre (metadato 4.4.1.2 *Name*) de la tecnología que se requiere para poder utilizar el objeto de aprendizaje concreción.

Como restricciones de integridad genéricas, únicamente es necesario considerar una restricción de integridad, que hace explícito cómo se relacionan los valores de dos metadatos que no son independientes entre sí, en concreto estos metadatos son 4.4.1.1 *Type* y 4.4.1.2 *Name*. Mientras el metadato 4.4.1.1 *Type* permite especificar el tipo de tecnología requerida para usar el objeto de aprendizaje concreción, el metadato 4.4.1.2 *Name* permite declarar la tecnología concreta que se requiere. Más concretamente, y asumiendo que se utiliza para estos metadatos el vocabulario propuesto por LOM, la restricción de integridad queda definida de la siguiente manera:

RI51. Cuando el valor asociado al metadato 4.4.1.1 *Type* es *operating system*, el rango de valores permitidos para el metadato 4.4.1.2 *Name* es *pc-dos*, *ms-windows*, *macos*, *unix*, *multi-os*, *none*. Cuando el valor asociado al metadato 4.4.1.1 *Type*

es *browser*, el rango de valores permitidos para el metadato 4.4.1.2 *Name* es *any*, *netscape communicator*, *ms-internet explorer*, *opera*, *amaya*.

Con respecto a restricciones de integridad específicas, existe la siguiente restricción de integridad que afecta a los objetos de aprendizaje compuestos:

- RI52. El formato (metadato 4.1 *Format*), tamaño (metadato 4.2 *Size*), requisitos (metadato 4.4 *Requirement*) y duración (metadato 4.7 *Duration*, en caso que el metadato sea aplicable) de un objeto de aprendizaje compuesto concreción se construyen como la unión/suma de los formatos, tamaños, requisitos y duraciones de sus objetos de aprendizaje parte concreción.

4.4.4. Propiedades educativas

La categoría 5. *Educational* de LOM permite describir características pedagógicas de un objeto de aprendizaje. Los metadatos pertenecientes a esta categoría son aplicables a cualquier tipo de objeto de aprendizaje, con independencia de la clase (o clases) a las que pertenezca. En la descripción de los objetos de aprendizaje, se determina como obligatorio el uso de la categoría 5. *Educational*, aunque la discusión sobre qué metadatos son obligatorios se posterga a la sección 4.5, donde se propondrá una reestructuración de la categoría 5. *Educational*.

De nuevo, las restricciones de integridad son específicas, es decir, dependen de la clase de objetos de aprendizaje bajo consideración.

En primer lugar, se presentan las restricciones de integridad que se establecen para las especializaciones de los objetos de aprendizaje de acuerdo a su nivel de abstracción (véase la subsección 4.2.1) y de acuerdo a sus características educativas (presentadas en la subsección 4.2.3). Mas concretamente, las restricciones a considerar son:

- RI53. El tipo de interactividad (metadato 5.1 *Interactivity type*), nivel de interactividad (metadato 5.3 *Interactivity level*), densidad semántica (metadato 5.4 *Semantic density*) e idioma (metadato 5.11 *Language*) de cada objeto de aprendizaje concreción son idénticos a los del objeto de aprendizaje conceptual de cual constituye una materialización.

- RI54. El rango de valores permitidos para el metadato tipo de recurso de aprendizaje (metadato 5.2 *Learning resource type*) para un objeto de aprendizaje conceptual debe pertenecer a la especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas que trata aspectos instruccionales, la cual se muestra en la figura 4.6.
- RI55. El rango de valores explícitamente declarados (es decir, proporcionados por el usuario) para el metadato tipo de recurso de aprendizaje (metadato 5.2 *Learning resource type*) para un objeto de aprendizaje concreción debe pertenecer a la especialización de los objetos de aprendizaje de acuerdo a características educativas que trata aspectos de representación, la cual se muestra en la figura 4.7.
- RI56. Cada objeto de aprendizaje concreción incluye, al menos, todos los valores asociados al metadato tipo de recurso de aprendizaje (metadato 5.2 *Learning resource type*) que incorpora el objeto de aprendizaje conceptual que materializa.
- RI57. El tipo de interactividad (metadato 5.1 *Interactivity type*), el tipo de recurso de aprendizaje (metadato 5.2 *Learning resource type*), nivel de interactividad (metadato 5.3 *Interactivity level*), densidad semántica (metadato 5.4 *Semantic density*) de cada objeto de aprendizaje derivado traducción o versión son idénticos a los del objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una traducción o una versión. Además, el idioma (metadato 5.11 *Language*) de cada objeto de aprendizaje derivado versión es idéntico al del objeto de aprendizaje conceptual de cual constituye una versión.

En relación a las restricciones de integridad RI53 y RI57, es importante destacar que no incluyen metadatos como destinatario (metadato 5.5 *Intended end user role*), contexto (metadato 5.6 *Context*), rango típico de edad (metadato 5.7 *Typical age range*), dificultad (metadato 5.8 *Difficulty*), tiempo típico de aprendizaje (metadato 5.9 *Typical learning time*) o descripción (metadato 5.10 *Description*).

El motivo por el cual estos metadatos no están incluidos se relaciona con el hecho que su valor puede variar en función del contexto (o contextos) de uso educativo asociados al objeto de aprendizaje, y serán posteriormente tratados en la sección 4.5. A modo de ejemplo, un objeto de aprendizaje traducción puede haber sido generado para ser utilizado en un contexto de uso educativo completamente diferente al del objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una traducción, causando que, por ejemplo,

la dificultad o el tiempo de aprendizaje a dedicar sea mayor o menor a los asignados en los posibles contextos de uso educativo del objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una traducción.

Por su parte, en segundo lugar, los objetos de aprendizaje compuestos imponen las restricciones de integridad que se enuncian a continuación:

- RI58. El tipo de interactividad (metadato 5.1 *Interactivity type*) de un objeto de aprendizaje compuesto es pasivo si todos sus objetos de aprendizaje parte son pasivos. El tipo de interactividad de un objeto de aprendizaje compuesto es activo si todos sus objetos de aprendizaje parte son activos. El tipo de interactividad de un objeto de aprendizaje compuesto es mixto si incorpora un objeto de aprendizaje parte activo y uno pasivo, o si incorpora un objeto de aprendizaje mixto.
- RI59. El nivel de interactividad (metadato 5.3 *Interactivity level*) y la densidad semántica (metadato 5.4 *Semantic density*) de un objeto de aprendizaje compuesto va a ser igual al valor máximo asignado para estos metadatos en sus objetos de aprendizaje parte.

Las restricciones de integridad RI58 y RI59 (como sucede con otras restricciones de integridad presentadas en este capítulo) proporcionan mecanismos que permiten calcular el valor de ciertos metadatos, en este caso, cuando se trata de objetos de aprendizaje compuestos. En este sentido, la propuesta realizada en las RI58 y RI59 es de mínimos, puesto que se trata de metadatos que inherentemente, en su propia definición, tienen una naturaleza imprecisa.

Finalmente, en el caso de objetos de aprendizaje compuestos, tampoco se imponen restricciones de integridad sobre metadatos cuyo valor depende del contexto (o contextos) de uso educativo del objeto de aprendizaje. La creación de un objeto de aprendizaje compuesto obedece a una intención pedagógica propia, diferente a la de sus objetos de aprendizaje parte, que dependerá del contexto (o contextos) de uso educativo dónde se pretende utilizar. En este sentido, imponer restricciones de integridad sobre el tiempo de aprendizaje requerido o la edad de los destinatarios que usarán el objeto de aprendizaje compuesto, en función de los valores que, para estos metadatos, tienen sus los objetos de aprendizaje parte puede resultar arbitrario, puesto que los contextos de uso de los objetos de aprendizaje parte pueden ser completamente diferentes.

4.4.5. Derechos sobre los objetos de aprendizaje

La categoría 6. *Rights* incorpora metadatos que permiten definir, a un nivel de detalle mínimo, los derechos de propiedad intelectual y las restricciones y autorizaciones (por ejemplo, mediante la definición de licencias) de uso aplicables a un objeto de aprendizaje. Los metadatos de esta categoría únicamente son aplicables a los objetos de aprendizaje concreción. Se trata de una categoría de carácter opcional aunque, en caso que se utilice, todos los metadatos que se incluyen en la misma (metadatos 6.1 *Cost*, 6.2 *Copyright and other restrictions* y 6.3 *Description*) son de obligada definición.

El principal motivo por el cual LOM sugiere mantener al mínimo el contenido de esta categoría, se relaciona con el hecho que se trata de un problema complejo que incluye tanto aspectos legales como tecnológicos, que se tratan dentro del ámbito de la gestión de derechos digitales, de tal manera que LOM sugiere la reutilización futura de los resultados de los trabajos relativos a este tema. La gestión de derechos digitales –para una discusión más detallada véase, por ejemplo, Downes et al. (2003) y Liu et al. (2005)– incluye un rango de funciones que incluyen su definición (mediante lenguajes de expresión de derechos como sería el caso, por ejemplo, de MPEG-REL (Wang et al. 2005), ODRL (Iannella 2002) o ccREL (Abelson et al. 2008)), identificación, negociación, protección, monitorización y seguimiento del uso de los objetos de aprendizaje.

Por todo ello, en este trabajo de tesis se descartan posibles extensiones de esta categoría. De manera similar, tampoco se propone la definición de restricciones de integridad (ni genéricas ni específicas), de tal manera que se delega en los usuarios de los objetos de aprendizaje el uso adecuado de los mismos. Entre otros, dicho uso adecuado incluye el desarrollo de objetos de aprendizaje derivados o la creación de objetos de aprendizaje compuestos a partir de otros.

4.4.6. Anotaciones sobre los objetos de aprendizaje

La categoría 8. *Annotation* permite a los educadores compartir comentarios sobre los objetos de aprendizaje, sugerencias para su uso y posibles evaluaciones sobre los mismos. Todos estos comentarios se expresan de manera textual a través del metadato 8.3 *Description* tratándose, en consecuencia, de información orientada al consumo de personas. Si bien se trata de una categoría de uso opcional en la descripción de los

objetos de aprendizaje, es importante destacar que, en caso que se definan anotaciones, será obligatorio informar el contenido asociado a cada anotación (metadato 8.3 *Description*) y la entidad (metadato 8.1 *Entity*) responsable de la misma.

Los metadatos de esta categoría son aplicables a cualquier objeto de aprendizaje, sean cuales sean las clases a las que pertenecen los mismos. En esta subsección no se establecen restricciones de integridad que relacionen las anotaciones efectuadas sobre objetos de aprendizaje conceptuales con sus posibles objetos de aprendizaje concreción, o entre uno conceptual y sus posibles objetos de aprendizaje derivados. El motivo es que estas restricciones de integridad dependen de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, y serán tratadas con posterioridad en la subsección 4.5.5.

Es importante destacar que esta categoría sería susceptible de ser extendida. Entre dichas extensiones estarían, por un lado, la posibilidad de crear diferentes tipos de anotaciones similares a las disponibles en redes sociales (por ejemplo, la posibilidad de añadir etiquetas, valoraciones, marcar un objeto de aprendizaje como favorito etc.). Por otro lado, una segunda extensión sería la posibilidad de abrir tales anotaciones a cualquier tipo de usuario de los objetos de aprendizaje (como podría ser el caso de estudiantes). Estas extensiones podrían ser un valor añadido en la gestión de los mismos. Por ejemplo, algunos tipos de anotación (póngase por caso, las posibles valoraciones) podrían ser utilizadas para ordenar los resultados de búsqueda de los objetos de aprendizaje. Además, el análisis de las anotaciones realizadas podría ayudar a mejorar los contenidos asociados a los objetos de aprendizaje, así como las descripciones de los mismos (por ejemplo, las etiquetas proporcionadas por los usuarios podrían revertir en cambios en los metadatos que describen los objetos de aprendizaje).

A pesar de los beneficios potenciales indicados, la extensión plantea serias dificultades relacionadas con la necesidad de registrar quién realiza tales comentarios. Se trata de una cuestión de crucial importancia de cara a garantizar la validez, es decir, la exactitud y vigencia de la información contenida en tales metadatos. El registro y trazabilidad de este tipo de información se conoce bajo el término inglés de *data provenance* (Buneman et al. 2000). Precisamente, los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje garantizan la *data provenance* de la información que contienen a través de la categoría 3. *Meta-Metadata*. Mediante esta categoría, se registra tanto a los responsables de la creación de los registros de metadatos, como

a los responsables de certificar su validez. En este sentido, la inclusión arbitraria de anotaciones en los registros de metadatos, sobre todo una vez éstos han sido validados, podría comprometer seriamente su validez. Por estos motivos, en general, el registro de comentarios sobre los objetos de aprendizaje por parte de usuarios (incluso aunque éstos sean educadores), no se incluye en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje, causando que la categoría 8. *Annotation* sea poco utilizada.

4.4.7. Clasificaciones de los objetos de aprendizaje

La categoría 9. *Classification* de LOM agrupa metadatos que permiten describir los objetos de aprendizaje de acuerdo a diferentes propósitos, a través del uso de sistemas de catalogación (o clasificación). Los sistemas de catalogación a utilizar no están prefijados de antemano en LOM. En consecuencia, se trata de una categoría abierta a cualquier sistema de catalogación existente, ya sea éste descriptivo o expresado en términos de ontologías.

Se trata de una categoría de carácter opcional en la descripción de los objetos de aprendizaje. A pesar de ello, si se utiliza, será obligatorio definir, al menos, cuál es el propósito de clasificación del objeto de aprendizaje (metadato 9.1 *Purpose*) y uno o más caminos taxonómicos (a través del metadato agregado 9.2 *Taxon path*). Para especificar cada camino taxonómico será obligatorio definir el sistema de catalogación (metadato 9.2.1 *Source*) que se utiliza y los términos concretos que se eligen dentro del sistema de clasificación (metadato agregado 9.2.2 *Taxon*). Finalmente, para cada término concreto, será necesario especificar su identificador (metadato 9.2.2.1 *Id*) y etiqueta descriptiva (metadato 9.2.2.2 *Entry*).

Los metadatos que pertenecen a la categoría 9. *Classification* son aplicables a cualquier objeto de aprendizaje, con independencia de la clase (o clases) a las que pertenezca el mismo. Adicionalmente, todas las restricciones de integridad que afectan a metadatos de esta categoría son específicas, si bien la única especialización de los objetos de aprendizaje que es necesario considerar es la realizada de acuerdo a su nivel de abstracción (véase la subsección 4.2.1). Estas restricciones de integridad son las que se explican a continuación:

- RI60. Un objeto de aprendizaje conceptual no puede definir clasificaciones con propósito restricciones de acceso y nivel de seguridad (metadato 9.1 *Purpose= accessibility restrictions/security level*).
- RI61. Un objeto de aprendizaje conceptual derivado traducción o versión incorpora todas las clasificaciones con propósito disciplina e idea (metadato 9.1 *Purpose= discipline/idea*) definidas sobre el objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una traducción o una versión.
- RI62. Un objeto de aprendizaje concreción incorpora todas las clasificaciones con propósitos disciplina e idea (metadato 9.1 *Purpose= discipline/idea*) definidas sobre el objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una materialización.
- RI63. Un objeto de aprendizaje concreción sólo puede definir como clasificaciones explícitamente declaradas (es decir, proporcionadas por el usuario) aquéllas que tengan como propósitos restricciones de acceso y nivel de seguridad (metadato 9.1 *Purpose= accessibility restrictions/security level*).

En relación a la restricción de integridad RI61 es importante destacar que, en el caso de los objetos de aprendizaje traducción, se está asumiendo que el sistema de catalogación utilizado, o bien está expresado en un lenguaje canónico (es decir, común) comprensible para todos los miembros de la comunidad que lo utiliza, o bien el sistema de catalogación está definido en todos los idiomas de interés.

Para finalizar, existen otras restricciones de integridad que afectan a las clasificaciones que se puedan realizar sobre los objetos de aprendizaje. Estas restricciones están relacionadas con los posibles contextos de uso educativo de los mismos y serán tratadas posteriormente en la subsección 4.5.5.

4.5. Contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje

El diccionario de la Real Academia Española define contexto como el entorno físico o de situación, ya sea político, histórico, cultural o de cualquier otra índole en el cual se considera un hecho.

En el caso de LOM, el contexto queda definido como el entorno de aprendizaje principal en el que se usará el objeto de aprendizaje. Dicho entorno principal queda representado a través del metadato 5.6 *Context* incluido en la categoría 5. *Educational*.

El problema de la definición de contexto propuesta por LOM se relaciona con la distinción que el estándar realiza entre contexto de uso educativo principal y otros contextos de uso educativo. Esta distinción puede ser sutil, cuando no subjetiva, y puede complicar el uso de ciertos metadatos (especialmente los de la categoría 5. *Educational*). Además va en contra de la filosofía de la reutilización. Para fomentar la reutilización, todos los posibles contextos de uso de cada objeto de aprendizaje deberían poder ser definidos y posteriormente identificados, mediante el análisis de los registros de metadatos que describen cada objeto de aprendizaje.

En consecuencia, y tomando como base las definiciones de contexto presentadas, el primer aspecto a considerar para modelar el contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje, es la determinación de los elementos que caracterizan el entorno dónde acontece el uso del mismo. Como segundo aspecto, es necesario identificar qué metadatos de LOM permiten definir los elementos previamente detectados. Finalmente, como tercer aspecto, es necesario considerar cómo estos metadatos quedan recogidos en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje, con el objetivo de facilitar la reutilización. En las subsecciones que vienen a continuación se tratan cada uno de los aspectos previamente reseñados.

4.5.1. Elementos que caracterizan el contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje

En relación a los elementos que caracterizan el contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje, éstos se deberían determinar a través de las respuestas a las siguientes preguntas, no independientes entre sí:

1. Dónde se usa el objeto de aprendizaje, de esta pregunta se derivan elementos como el nivel (o niveles) educativo dónde se aplicaría el objeto de aprendizaje (educación primaria, secundaria, universitaria etc.), la disciplina (o disciplinas), y la institución (o instituciones) que usaría el objeto de aprendizaje.

2. A quién se dirige el uso del objeto de aprendizaje, de esta pregunta se derivan múltiples elementos como serían, por ejemplo, el tipo de destinatario al que se dirige el objeto de aprendizaje, su edad, restricciones en el acceso al objeto de aprendizaje (es decir, aspectos relativos a destinatarios con necesidades especiales), así como los conocimientos, competencias y habilidades que el destinatario debe poseer para que la experiencia educativa sea significativa. Adicionalmente, también se podrían incluir aspectos como los estilos de aprendizaje preferidos por los destinatarios o sus expectativas de aprendizaje. Todos estos elementos tanto se pueden tratar a nivel personal (esto es, para cada uno de los destinatarios, a título individual), como general (esto es, entendiendo el destinatario como el conjunto de personas con intereses de aprendizaje afines).
3. Cómo se usa/qué se obtiene a través del uso del objeto de aprendizaje, de esta pregunta se derivan elementos como el estilo de aprendizaje fomentado por el objeto de aprendizaje, las recomendaciones de uso del objeto de aprendizaje o las competencias, habilidades y conocimientos que promueve el objeto de aprendizaje. También podría incluir aspectos relacionados con el escenario de situación en que usará el mismo (formación presencial, semipresencial, virtual etc.).

4.5.2. Soporte en LOM para la definición del contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje

A partir de los elementos identificados en cada una de las preguntas de la subsección 4.5.1, a continuación se presentan los metadatos de LOM que dan soporte a su definición. Estos elementos, conjuntamente con sus metadatos relacionados, también quedan resumidos en las tablas 4.10, 4.11 y 4.12.

En relación a la primera pregunta (véase la tabla 4.10), el nivel educativo se puede representar a partir del metadato 5.6 *Context*, al nivel de detalle que se considere necesario, atendiendo al texto asociado al estándar, dado que se trata de un atributo multivaluado. Adicionalmente, también se puede representar a través de la categoría 9. *Classification* tomando como propósito de clasificación (metadato 9.1 *Purpose*) el nivel educativo. Entre ambas alternativas de representación (no excluyentes entre sí), en este trabajo de tesis se descarta el uso del metadato 5.6 *Context* para realizar el refinamiento. El motivo es evitar que semántica relevante pueda quedar oculta (y por

| Elementos | Soporte en LOM |
|-----------------|---|
| Nivel educativo | 5. <i>Educational</i> (5.6 <i>Context</i>) |
| | 9. <i>Classification</i> (9.1 <i>Purpose</i> = <i>educational level</i>) |
| Disciplina | 9. <i>Classification</i> (9.1 <i>Purpose</i> = <i>discipline/idea</i>) |

Tabla 4.10: Dónde se usa el objeto de aprendizaje

tanto, difícilmente procesable por agentes software) dentro de un metadato multivaluado, y más cuando se dispone de mecanismos, dentro del ámbito del propio estándar, para que este refinamiento se pueda realizar de manera explícita (en este caso, a través de la categoría 9. *Classification*).

Por su parte, la disciplina se puede representar, atendiendo a las recomendaciones establecidas por CanCore (Friesen et al. 2003), a través de los metadatos de la categoría 9. *Classification*, tomando como propósitos de clasificación (metadato 9.1 *Purpose*) disciplina e idea. Mientras que, de acuerdo a Friesen et al. (2003), la clasificación en base a la disciplina permitiría clasificar el objeto de aprendizaje de acuerdo a su uso por departamentos, facultades o unidades dentro de una organización, la clasificación en base a idea podría ser usada para clasificar el objeto de aprendizaje dentro de un sistema de clasificación propio de una disciplina en particular.

Finalmente, la institución que usa un objeto de aprendizaje, aparentemente, se podría caracterizar a través de los metadatos entidad pertenecientes a las categorías 2. *Life cycle*, 3. *Meta-metadata* y 8. *Annotation*. A través de la categoría 2. *Life cycle* se puede expresar información sobre aquellas entidades que han contribuido (metadato 2.3.2 *Entity*) en la elaboración del objeto de aprendizaje. Se podría pensar que la organización a la que pertenece el autor o la organización que edita o la organización que publica el objeto de aprendizaje, serán organizaciones que lo usan. Seguramente esto será así en muchas ocasiones, pero seguro que es posible encontrar contraejemplos. De manera similar, en la categoría 3. *Meta-metadata* se puede incluir información sobre la entidad (metadato 3.2.2 *Entity*) que crea el registro de metadatos del objeto de aprendizaje. De nuevo, no necesariamente dicha organización lo usará. Finalmente, en la categoría 8. *Annotation* se pueden definir comentarios sobre el uso educativo del objeto de aprendizaje, así como información sobre quién (metadato 8.1 *Entity*) realiza dichos comentarios. Nada impediría que alguien (por ejemplo, un revisor) pudiera rea-

| Elementos | Soporte en LOM |
|---|--|
| Características personales del destinatario | 5. <i>Educational</i> (5.5 <i>Intended end user role</i> , 5.7 <i>Typical age range</i> , 5.11 <i>Language</i>) |
| Restricciones sobre el destinatario | 5. <i>Educational</i> (5.3 <i>Interactivity level</i> , 5.4 <i>Semantic density</i> , 5.8 <i>Difficulty</i> , 5.9 <i>Typical learning time</i>) 9. <i>Classification</i> (9.1 <i>Purpose= prerequisite/accessibility restrictions/security level</i>) |

Tabla 4.11: A quién se dirige el uso del objeto de aprendizaje

lizar comentarios sobre el objeto de aprendizaje sin que lo hubiera utilizado de manera efectiva en su organización.

Por lo tanto, en general, se puede concluir que no siempre será posible determinar la institución (o instituciones) que usan el objeto de aprendizaje a través de los metadatos propuestos por LOM. Si bien la identificación de las mismas podría ser relevante en tanto en cuanto ayuda a delimitar el ámbito social y cultural de uso del objeto de aprendizaje, en este trabajo de tesis se considera que esta información también queda perfectamente recogida a través de los otros dos elementos (nivel educativo y disciplina). En consecuencia, se descarta la determinación de la institución como un elemento relevante a considerar en la caracterización de dónde se usa un objeto de aprendizaje.

Con respecto a la segunda pregunta, a quién se dirige el uso del objeto de aprendizaje, LOM contempla metadatos que permiten, por un lado, especificar características generales de índole personal de los destinatarios del objeto de aprendizaje y, por otro, restricciones que esos mismos destinatarios deben cumplir cuando lo utilizan. En el contexto de LOM, el destinatario de un objeto de aprendizaje, se debe entender como un grupo de individuos con intereses de aprendizaje afines.

Los metadatos de LOM que permiten especificar los elementos previos (véase la tabla 4.11) se hallan en las categorías 5 *Educational* y 9. *Classification*. Más concretamente, en relación a características generales de tipo personal, mediante los metadatos 5.5 *Intended end user role*, 5.7 *Typical age range* y 5.11 *Language* es posible especificar, respectivamente, el tipo de sujeto (o sujetos) al cual se dirige el objeto de aprendizaje, su edad (o rango de edades) e idioma (o idiomas).

| Elementos | Soporte en LOM |
|---|---|
| Estilo de aprendizaje | 5. <i>Educational</i> (5.1 <i>Interactivity type</i>) |
| Recomendaciones de uso | 5. <i>Educational</i> (5.10 <i>Description</i>) |
| | 8. <i>Annotation</i> |
| Competencias, habilidades, conocimientos promovidos | 9. <i>Classification</i> (9.1 <i>Purpose= discipline/ idea/ educational level/ educational objective/ skill level/ competency</i>) |

Tabla 4.12: Cómo se usa/qué se obtiene a través del uso del objeto de aprendizaje

Por su parte, los metadatos 5.3 *Interactivity level*, 5.4 *Semantic density*, 5.8 *Difficulty* y 5.9 *Typical learning time* de la categoría 5. *Educational* permiten definir, respectivamente, la capacidad que tiene el sujeto (o sujetos) para influenciar el aspecto o comportamiento del objeto de aprendizaje, el grado de concisión del objeto de aprendizaje, y el tiempo aproximado de dedicación del sujeto (o sujetos) al que se dirige el mismo. Estos metadatos imponen prerequisites sobre los destinatarios del objeto de aprendizaje. Adicionalmente, también es posible especificar prerequisites relativos a conocimientos, competencias y habilidades previos sobre el destinatario del mismo mediante la categoría 9. *Classification* usando como propósito de clasificación (metadato 9.1 *Purpose*) prerequisite. De manera similar, también es posible definir restricciones en el acceso al objeto de aprendizaje.

Como ya se ha reseñado con anterioridad, LOM no permite definir características individuales de cada posible destinatario del objeto de aprendizaje. Esto significa que no es posible definir características más específicas de tipo personal de cada destinatario como serían sus estilos de aprendizaje preferidos, sus expectativas de aprendizaje o información detallada sobre los conocimientos, competencias o habilidades que posee. Tampoco es propósito de LOM especificar este tipo de información personal la cual se puede representar a través de otras especificaciones diseñadas a tal efecto, como sería el caso IEEE PAPI o IMS LIP.

En relación a la tercera pregunta, los elementos que permiten caracterizar cómo se usa/qué se obtiene a través del uso del objeto de aprendizaje, se pueden representar a través de metadatos de las categorías 5. *Educational*, 8. *Annotation* y 9. *Classification*, tal y como muestra la tabla 4.12.

En concreto, el estilo de aprendizaje promovido por el objeto de aprendizaje se puede definir a través del metadato 5.1 *Interactivity type* de la categoría 5. *Educational*. Por su parte, las recomendaciones de uso del objeto de aprendizaje se pueden especificar, bien a partir del metadato 5.10 *Description* de la categoría 5. *Educational*, o bien mediante anotaciones, es decir, a través de los metadatos de la categoría 8. *Annotation*. Para definir las competencias, habilidades y conocimientos promovidos por el objeto de aprendizaje, se puede utilizar la categoría 9. *Classification*. Para ello, sería suficiente clasificarlo tomando como propósito de clasificación (metadato 9.1 *Purpose*) la disciplina, idea, nivel educativo, objetivo educativo, nivel de habilidad y competencia.

En relación al escenario de situación (formación presencial, semipresencial o virtual) en que se usará un objeto de aprendizaje, LOM no proporciona metadatos para su representación, aunque ciertos perfiles nacionales proporcionan indicaciones sobre dónde incorporar esta información. En concreto, en el caso de España (LOM-ES 2007), se sugiere usar el metadato 5.6 *Context*. Ésta decisión es cuestionable puesto que compromete la interoperabilidad al redefinir la intención del metadato originalmente propuesto por LOM. A efectos de este trabajo de tesis, dado que el foco de interés se centra en la descripción de objetos de aprendizaje desarrollados para ser usados en formación virtual o semipresencial, no se considera que la caracterización del escenario de situación sea un elemento relevante de cara a fomentar la reutilización de los mismos. En cualquier caso, un objeto de aprendizaje desarrollado para ser usado en formación virtual o semipresencial difícilmente podrá no ser útil en formación presencial.

Para finalizar, y a modo de resumen, destacar que la información relativa a los diferentes contextos de uso educativo de un objeto de aprendizaje puede quedar representada mediante la combinación de:

1. Metadatos, muchos de ellos multivaluados. Éste sería el caso, por ejemplo, de ciertos metadatos de la categoría 5. *Educational* como 5.5 *Intended end user role* o 5.6 *Context*.
2. Múltiples instancias de metadatos de una misma categoría. Éste sería el caso, por ejemplo, de la categoría 5. *Educational*, asumiendo que cada instancia de la categoría 5. *Educational* asociada a un mismo objeto de aprendizaje describe (parcialmente) un contexto de uso educativo diferente.

3. Múltiples instancias de metadatos pertenecientes a diferentes categorías. Éste sería el caso, por ejemplo, de instancias de metadatos de las categorías 5. *Educational*, 8. *Annotation* y 9. *Classification*.

4.5.3. Limitaciones de LOM para la definición del contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje

Una vez identificados los metadatos de LOM que dan soporte a la definición de cada posible contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje, en esta subsección se discuten las limitaciones de LOM a este respecto.

Antes de proceder con la discusión, es importante destacar que en este trabajo de tesis se descarta la distinción entre contexto de uso educativo principal y otros posibles contextos de uso educativos del objeto de aprendizaje puesto que, tal y como se ha argumentado al inicio de la sección 4.5, la distinción puede ser sutil, e incluso subjetiva. Además sugiere que, en el registro de metadatos que describe el objeto de aprendizaje, únicamente sea necesario definir la información relativa al contexto de uso educativo principal del mismo. Para fomentar la reutilización de los objetos de aprendizaje, todos y cada uno de los contextos de uso educativo del objeto de aprendizaje tienen que poder estar definidos en el registro (o registros) de metadatos que lo describe.

La discusión de las limitaciones de LOM en relación a la definición de los posibles contextos de uso educativo de un objeto de aprendizaje se ilustran a través de un ejemplo que se describe a continuación.

Supóngase que se dispone de un objeto de aprendizaje que es un artículo de investigación de un congreso (en este punto de la discusión se omite, por ser irrelevante, la pertenencia del mismo a ciertas clases de objetos de aprendizaje, de acuerdo a las especializaciones presentadas en la sección 4.2). Este objeto de aprendizaje se desea que sea utilizado por estudiantes de máster, en contextos de uso educativo diferentes, por una parte para el aprendizaje de competencias comunicativas (el artículo de congreso se quiere utilizar para enseñar cómo elaborar textos científicos), y por otra parte, para el aprendizaje de aspectos relativos al tema cubierto por el artículo de congreso que se desea utilizar como objeto de aprendizaje. Resulta evidente, por ejemplo, que los objetivos educativos a alcanzar o las competencias a desarrollar van a variar en

teado, al menos variarían los valores asignados a los metadatos 5.8 *Difficulty* y 5.9 *Typical learning time*. El resto de metadatos que no varían su valor podrían definirse en ambas instancias de la categoría 5. *Educational* (en este caso sería necesario garantizar que se asigna el mismo valor a estos metadatos), definirse únicamente en una de ellas, o definirse mediante una instancia de la categoría 5. *Educational* que sólo incorporase dichos metadatos.

2. Tantas instancias de la categoría 9. *Classification* como se consideren necesarias. Sobre el ejemplo planteado, al menos se podrían definir cuatro instancias que especifiquen los objetivos educativos que se desean alcanzar y las competencias a desarrollar en función de cómo se desea que sea usado el objeto de aprendizaje. Más concretamente, se trataría de definir una clasificación de acuerdo a objetivos de aprendizaje y competencias a desarrollar para cada contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje (el aprendizaje de competencias comunicativas y el aprendizaje de aspectos relativos al tema tratado en el artículo de congreso).

El problema de la solución planteada radica en la imposibilidad de relacionar las clasificaciones realizadas (punto 2) con cada una de las instancias definidas de la categoría educativa (punto 1). En definitiva, es imposible saber qué objetivos educativos se desean alcanzar (tal y como muestra la figura 4.25) o qué competencias se quieren desarrollar en función de cómo se usa el objeto de aprendizaje.

Las causas al problema reseñado se relacionan con ambigüedades y omisiones en las definiciones proporcionadas por LOM para ciertos metadatos que son relevantes en la representación de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, y que ocasionan que la semántica relativa a los contextos de uso educativo de éstos esté diseminada, y en consecuencia, implícita y aislada (o si se prefiere, descontextualizada) en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje.

4.5.4. Clases de registros de metadatos y su organización en una jerarquía de especialización

En esta subsección se presenta una posible solución para el modelado de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. El objetivo fundamental de la solución propuesta es hacer explícita la semántica relativa a dichos contextos de uso educativo, con vistas a facilitar su análisis y, en consecuencia, incrementar la reutilización de los objetos de aprendizaje.

La solución se basa en la definición de múltiples registros de metadatos que se organizan en una jerarquía de especialización, tal y como muestra la figura 4.26. Adicionalmente, la jerarquía de especialización propuesta también permite capturar el hecho que la estructura de un registro de metadatos puede variar en función de pertenencia o no del objeto de aprendizaje a una determinada clase de objetos de aprendizaje dado que, tal y como se ha establecido en la sección 4.4, existen metadatos que no son aplicables a ciertas clases de objetos de aprendizaje. En este sentido, destacar que la especialización que es necesario considerar es la especialización de objetos de aprendizaje de acuerdo a su nivel de abstracción, la cual ha sido presentada en la subsección 4.2.1. Esta especialización (omitida en la figura 4.26 por razones de espacio) permite distinguir entre diferentes tipos de objetos de aprendizaje conceptuales y sus objetos de aprendizaje concreción asociados.

A un primer nivel (véase la figura 4.26), los registros de metadatos se pueden especializar en registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (clase *Context Dependent Metadata Record*) y en registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo (clase *Context Independent Metadata Record*). Cada registro de metadatos describe un único objeto de aprendizaje (clase *LO*), y cada objeto de aprendizaje al menos define un registro de metadatos.

Los registros de metadatos, con independencia de su tipo, pueden definir diferentes anotaciones y clasificaciones a través de instancias de las categorías 8. *Annotation* y 9. *Classification*. Cada posible instancia de dichas categorías incluye, al menos, los metadatos que se han determinado como obligatorios en las subsecciones 4.4.6 y 4.4.7. Además, cada registro de metadatos incluye de manera obligatoria una instancia de la categoría 3. *Meta-Metadata* que sirve para especificar información relativa al pro-

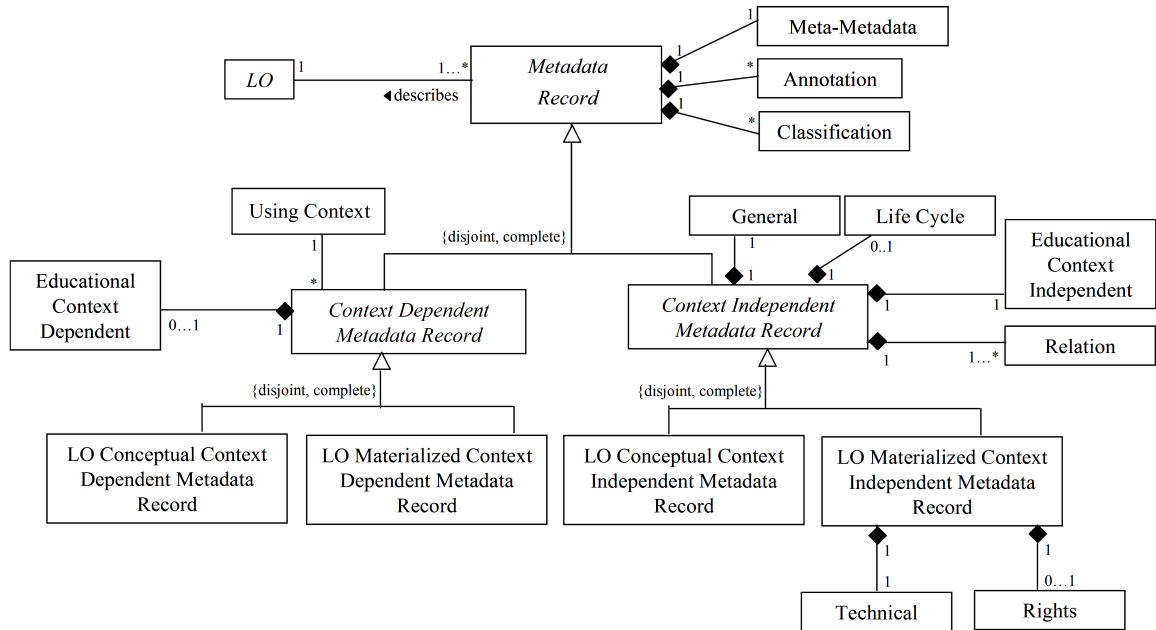


Figura 4.26: Modelado del contexto de uso educativo mediante registros de metadatos especializados

pio registro de metadatos. Al menos, dicha instancia de la categoría 3. *Meta-Metadata* define el metadato 3.3 *Metadata schema* que permite recoger el nombre y versión de la especificación (o especificaciones) utilizada en la creación del registro de metadatos, así como una instancia del metadato agregado 3.2 *Contribute* que indique quién ha sido la entidad (persona u organización) responsable de la creación del registro de metadatos. La instancia de este metadato fuerza, como mínimo, a la inclusión de los metadatos 3.2.1 *Role* y 3.2.2 *Entity*. En el caso que la instancia de la categoría 3. *Meta-Metadata* incluya el metadato agregado 3.1 *Identifier* (este metadato permite identificar el registro de metadatos), los metadatos 3.1.1 *Catalog* y 3.1.2 *Entry* son de definición obligatoria.

Los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (clase *Context Dependent Metadata Record*) recogen aquellos metadatos cuyo valor puede variar en función del contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje. Estos metadatos, tomados en conjunto, caracterizan un posible contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje. Para cada contexto de uso educativo diferente de un mismo objeto de aprendizaje, se podrá definir su correspondiente registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo. En consecuencia, cada objeto de aprendizaje puede definir

| Categoría 5 <i>Educational</i> |
|--|
| Metadatos con valor dependiente del contexto de uso educativo |
| 5.5 <i>Intended end user role</i> |
| 5.6 <i>Context</i> |
| 5.7 <i>Typical age range</i> |
| 5.8 <i>Difficulty</i> |
| 5.9 <i>Typical learning time</i> |
| 5.10 <i>Description</i> |
| Metadatos con valor independiente del contexto de uso educativo |
| 5.1 <i>Interactivity type</i> |
| 5.2 <i>Learning resource type</i> |
| 5.3 <i>Interactivity level</i> |
| 5.4 <i>Semantic density</i> |
| 5.11 <i>Language</i> |

Tabla 4.13: Diferenciación de las propiedades educativas según el contexto de uso

diferentes registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo, en el supuesto que se trate de contextos de uso educativos diferentes.

Cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo incorpora información que permite identificar a qué contexto de uso educativo hace referencia. Esto se representa a través de la asociación que se define entre las clases *Using Context* y *Context Dependent Metadata Record* (véase la figura 4.26). La clase *Using Context* no tiene correspondencia con ninguno de los metadatos o categorías propuestos por LOM. A efectos de descripción de los objetos de aprendizaje no es estrictamente necesaria, puesto que el contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje, tal y como se ha mencionado anteriormente, queda representado a partir de del conjunto de metadatos que incorpora cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo. En consecuencia, no sería necesaria su inclusión (en forma de nuevos metadatos o a través de una nueva categoría) en LOM. Su interés radica en que facilita la gestión de los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo.

Entre los metadatos que incorpora cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo se encuentran, además de los heredados de la clase *Metadata Record*, ciertos metadatos de la categoría 5. *Educational* de LOM. Más concretamente, y para cada contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje, su registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo puede definir una instancia

de estos metadatos que recogen características educativas. La relación de metadatos de la categoría 5. *Educational* cuyo valor puede variar en función del contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje se muestra en la parte superior de la tabla 4.13.

El hecho de que la solución propuesta fuerce que un registro de metadatos únicamente pueda incluir una instancia de propiedades educativas (dependientes o independientes del contexto de uso, en función del tipo de registro de metadatos), no es contradictorio con que LOM especifique que la categoría 5. *Educational* pueda ser multivaluada. Cada contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje queda representado en registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo separados. Por lo tanto, en último término, fijado un objeto de aprendizaje, éste puede tener asociadas múltiples instancias de la categoría 5. *Educational* originalmente propuesta por LOM, en concreto diversas instancias de aquellos metadatos cuyo valor puede variar en función del contexto de uso educativo. Precisamente, estos metadatos son los que se incluyen en la clase *Educational Context Dependent*. En definitiva, la solución propuesta divide la categoría 5. *Educational* de LOM en dos subcategorías (representadas a través de las clases *Educational Context Dependent* y *Educational Context Independent*, tal y como muestra la figura 4.26), diferenciando las propiedades educativas de acuerdo a su relevancia para modelar los diferentes contextos de uso educativos de los objetos de aprendizaje. Mientras que la subcategoría representada por la clase *Educational Context Dependent* es optativa, la subcategoría recogida en la clase *Educational Context Independent* es obligatoria. En caso que se defina una instancia de metadatos de la clase *Educational Context Dependent*, ésta debe incluir, al menos, los metadatos de LOM 5.5 *Intended end user role* y 5.6 *Context*. Por su parte, cada instancia de la clase *Educational Context Independent* debe definir de manera obligatoria el metadato 5.2 *Learning resource type*.

Con respecto a los metadatos heredados de la clase *Metadata Record*, es importante destacar que los registros de metadatos dependientes del contexto de uso definen las anotaciones y clasificaciones de interés sobre el objeto de aprendizaje cuando éste se considera en un contexto de uso educativo determinado. La segunda columna de la tabla 4.14 muestra los propósitos de clasificación (metadato 9.1 *Purpose*) a utilizar en los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo.

| Categoría 9. <i>Classification</i> | | |
|---|----------------------|------------------------|
| Propósitos | Dep. Contexto de uso | Indep. Contexto de uso |
| <i>Discipline</i> | | ✓ |
| <i>Idea</i> | | ✓ |
| <i>Prerequisite</i> | ✓ | |
| <i>Educational objective</i> | ✓ | |
| <i>Accessibility restrictions</i> | | ✓ |
| <i>Educational level</i> | ✓ | |
| <i>Skill level</i> | ✓ | |
| <i>Security level</i> | ✓ | |
| <i>Competency</i> | ✓ | |

Tabla 4.14: Diferenciación de los propósitos de clasificación según el contexto de uso

A su vez, los registros de metadatos dependientes del contexto de uso se especializan en dos nuevas clases (*LO Conceptual Context Dependent Metadata Record* y *LO Materialized Context Dependent Metadata Record*) en función de si el registro de metadatos describe un objeto de aprendizaje conceptual o concreción.

Los registros dependientes del contexto de uso que describen un objeto de aprendizaje conceptual (estos registros pertenecen a la clase *LO Conceptual Context Dependent Metadata Record*) recogen la información relativa al contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje que se mantiene constante, con independencia de los formatos de representación que de ese objeto de aprendizaje conceptual se ofrecen, y que quedan representados a través de los distintos objetos de aprendizaje concreción que materializan el objeto de aprendizaje conceptual. Es importante destacar que no necesariamente todos los objetos de aprendizaje concreción de un mismo objeto de aprendizaje conceptual tienen que usarse en todos y cada uno de los contextos de uso educativo aplicables a su correspondiente objeto de aprendizaje conceptual. En consecuencia, de manera intuitiva, los contextos de uso educativo de cada objeto de aprendizaje concreción tienen que estar incluidos en los contextos de uso educativo del objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una materialización.

En el supuesto que un objeto de aprendizaje conceptual tenga asociados X contextos de uso educativo diferentes, representados en X registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (cada uno de estos registros de metadatos será instancia de la clase *LO Conceptual Context Dependent Metadata Record*), cada uno de sus objetos de aprendizaje concreción podrán definir hasta X registros de metadatos (cada

uno de estos registros de metadatos será instancia de la clase *LO Materialized Context Dependent Metadata Record*). Es más, los registros de metadatos dependientes del contexto de uso de cada objeto de aprendizaje concreción diferente que se use en un mismo contexto de uso educativo Y , van incorporar toda la información (metadatos y valores asociados) presentes en el registro de metadatos que describe el contexto de uso educativo Y del objeto conceptual del cual constituye una materialización. Con posterioridad, en la subsección 4.5.6, se tratará este tema de nuevo y se ilustrará tomando como base el ejemplo presentado en la subsección 4.5.3.

Adicionalmente, cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso de cada objeto de aprendizaje concreción puede definir sus propias anotaciones y clasificaciones, al margen de las definidas en el registro de metadatos dependiente del contexto de uso del conceptual con el que está asociado. En el caso de las clasificaciones, es importante destacar que únicamente será posible definir clasificaciones que tengan como propósito de clasificación el nivel de seguridad dado que, tal y como se ha establecido en la subsección 4.4.7, este tipo de clasificaciones únicamente son aplicables a los objetos de aprendizaje concreción.

Por su parte, los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo (estos registros pertenecen a la clase *Context Independent Metadata Record*) contienen aquellos metadatos cuyo valor se va a mantener invariable, con independencia del contexto (o contextos) de uso educativo del objeto de aprendizaje. Estos registros son aplicables a cualquier clase de objeto de aprendizaje según su especialización de acuerdo a su nivel de abstracción presentada en la subsección 4.2.1. En consecuencia, cada objeto de aprendizaje (conceptual o concreción), desde el punto de vista de cada repositorio donde se almacene el mismo, únicamente necesita definir un registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo. En otras palabras, la cardinalidad máxima de la asociación que se establece entre la clase *LO* y la clase *Metadata Record* (véase la figura 4.26), en cada repositorio donde se almacene el objeto de aprendizaje, queda restringida a un elemento cuando el registro de metadatos que participa en la asociación pertenece a la clase *Context Independent Metadata Record*. En el caso que un mismo objeto de aprendizaje se almacene en diversos repositorios, será necesario garantizar la consistencia de los valores contenidos en cada uno de los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo que se le asocien.

Esta consistencia se verifica en el caso que los valores contenidos en dichos registros sea coincidente.

Los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo siempre incorporan, aparte de los metadatos heredados de la clase *Metadata Record*, una instancia de metadatos de la categoría 1. *General* (los metadatos de inclusión obligatoria en dicha categoría se han indicado en la subsección 4.4.1), así como una instancia de aquellos metadatos de la categoría 5. *Educational* que quedan recogidos en la clase *Educational Context Independent*. La relación de metadatos incluidos en la clase *Educational Context Independent* se muestra en la parte inferior de la tabla 4.13. Tal y como se ha especificado con anterioridad, cada instancia de la clase *Educational Context Independent* define de manera obligatoria el metadato 5.2 *Learning resource type*.

De manera similar, cada registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo siempre declara, al menos, una instancia de metadatos de la categoría 7. *Relation*. En el caso que el registro de metadatos se asocie a un objeto de aprendizaje conceptual (en este caso el registro de metadatos también es instancia de la clase *LO Conceptual Context Independent Metadata Record*), es necesario definir tantas instancias de la categoría 7. *Relation* como objetos de aprendizaje concreción tenga asociado. Si el registro de metadatos está asociado a un objeto de aprendizaje concreción (y por lo tanto, el registro de metadatos también es instancia de la clase *LO Materialized Context Independent Metadata Record*), es obligatorio definir una instancia de la categoría 7. *Relation* que recoja cuál es el objeto de aprendizaje conceptual con el que se relaciona. Cada instancia de la categoría 7. *Relation* define, de manera obligatoria, los metadatos 7.1 *Kind* y 7.2.1 *Identifier*. Este último metadato, a su vez, forma parte del metadato agregado 7.2 *Resource*.

Con respecto a los metadatos heredados de la clase *Metadata Record*, es importante destacar que los registros de metadatos independientes del contexto de uso únicamente pueden definir clasificaciones que se vayan a mantener invariables (o independientes) del contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje. Estas clasificaciones se muestran en la tercera columna de la tabla 4.14.

Finalmente, los registros de metadatos independientes del contexto de uso se especializan en dos nuevas clases (*LO Conceptual Context Independent Metadata Record* y

LO Materialized Context Independent Metadata Record) en función de si el registro de metadatos describe un objeto de aprendizaje conceptual o concreción. En el caso que el registro de metadatos se asocie a un objeto de aprendizaje concreción, éste incorpora de manera obligatoria una instancia de metadatos de la categoría 4. *Technical* y opcionalmente una instancia de metadatos de la categoría 6. *Rights*. Los metadatos que deben definir de manera obligatoria cada una de estas instancias son, respectivamente, los indicados en las subsecciones 4.4.3 y 4.4.5.

4.5.5. Restricciones de integridad sobre los registros de metadatos: contextos de uso educativo y Meta-Metadatos

En esta subsección se examinan las restricciones de integridad que deben verificar los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. Algunas de estas restricciones de integridad vienen inducidas por los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje y la jerarquía de especialización para los registros de metadatos presentados en la subsección 4.5.4. Por otra parte, también existen restricciones de integridad que vienen determinadas por el texto asociado a LOM y las especializaciones de los objetos de aprendizaje presentadas en la sección 4.2. Algunas de estas restricciones de integridad ya han sido examinadas en secciones precedentes (concretamente en la subsección 4.3.4 y sección 4.4). En esta subsección se añaden aquellas restricciones de integridad que tienen que ver con la categoría 3. *Meta-Metadata*.

Las restricciones de integridad relativas a los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje y la jerarquía de especialización de los registros de metadatos, son las que se muestran a continuación:

- RI64. Cada objeto de aprendizaje, como mínimo, tiene asociado un registro de metadatos que describe al objeto de aprendizaje. Cada registro de metadatos describe un único objeto de aprendizaje.
- RI65. Todo registro de metadatos define de manera obligatoria una instancia (y sólo una) de metadatos de la categoría 3. *Meta-Metadata*.
- RI66. La especialización de los registros de metadatos en registros de metadatos dependientes e independientes del contexto de uso educativo es disjunta y total. Es decir, o un registro de metadatos es un registro de metadatos dependiente

- del contexto de uso, o es un registro de metadatos independiente del contexto de uso, pero no es ambas cosas a la vez. De acuerdo a esta especialización, tampoco existen registros de metadatos que no pertenezcan a una de las dos categorías.
- RI67. La especialización de los registros de metadatos dependientes del contexto de uso es disjunta y total. Es decir, o un registro de metadatos dependiente del contexto de uso es un registro de metadatos dependiente del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje conceptual, o es un registro de metadatos dependiente del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje concreción, pero no es ambas cosas a la vez. Tampoco existen, según esta especialización, registros de metadatos dependientes del contexto de uso que no pertenezcan a una de las dos categorías.
- RI68. La especialización de los registros de metadatos independientes del contexto de uso es disjunta y total. Es decir, o un registro de metadatos independiente del contexto de uso es un registro de metadatos independiente del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje conceptual, o es un registro de metadatos independiente del contexto de tipo objeto de aprendizaje concreción, pero no es ambas cosas a la vez. Tampoco existen registros de metadatos independientes del contexto de uso que no pertenezcan a una de las dos categorías, según esta especialización.
- RI69. Los registros de metadatos dependientes del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje conceptual y los registros de metadatos independientes del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje conceptual únicamente pueden estar asociados a un objeto de aprendizaje conceptual.
- RI70. Los registros de metadatos dependientes del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje concreción y los registros de metadatos independientes del contexto de uso de tipo objeto de aprendizaje concreción únicamente pueden estar asociados a un objeto de aprendizaje concreción.
- RI71. Cada objeto de aprendizaje (conceptual o concreción), en cada repositorio donde se almacene el objeto de aprendizaje, sólo puede definir un registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo. Los registros de metadatos independientes del contexto de uso que, en diferentes repositorios, se asocian a mismo objeto de aprendizaje, deben contener valores coincidentes en sus metadatos.
- RI72. Un registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo define una (y sólo una) instancia de metadatos de la categoría 1. *General* y una (y sólo una)

instancia de la subcategoría representada por la clase *Educational Context Independent*. Un registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo como mínimo define una instancia de la categoría 7. *Relation*.

- RI73. Un registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo sólo puede definir clasificaciones con propósito disciplina, idea y restricciones de acceso.
- RI74. Un registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo asociado a un objeto de aprendizaje concreción define una (y sólo una) instancia de metadatos de la categoría 4. *Technical*.
- RI75. Un registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo define de manera obligatoria o bien una instancia de la subcategoría representada por la clase *Educational Context Dependent*, o bien una instancia de la categoría 8. *Annotation*, o bien una instancia de la categoría 9. *Classification*.
- RI76. Un registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo únicamente puede definir clasificaciones con propósito prerequisite, objetivo educativo, nivel educativo, nivel de habilidad, nivel de seguridad y competencia.
- RI77. Cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso asociado a un objeto de aprendizaje concreción relativo a un contexto específico *C* va incorporar toda la información (metadatos y valores asociados) relativa al contexto *C* definida en el registro de metadatos dependiente del contexto de uso del objeto de aprendizaje conceptual del cual el objeto de aprendizaje concreción constituye una materialización.

Adicionalmente, todos los registros de metadatos deben cumplir la siguiente restricción de integridad genérica (de acuerdo a la terminología introducida en la sección 4.4) propuesta por LOM en relación a los metadatos de la categoría 3. *Meta-Metadata*:

- RI78. Cada registro de metadatos asociado a un objeto de aprendizaje, a lo sumo, únicamente define una contribución con rol creador (metadato 3.2.1 *Role= creator*).

En relación a restricciones de integridad específicas, esto es, las que dependen de la tipología del objeto de aprendizaje que está siendo descrito por un determinado registro de metadatos, existen restricciones de integridad que, en esencia, regulan el orden de creación de los diferentes tipos de registros de metadatos.

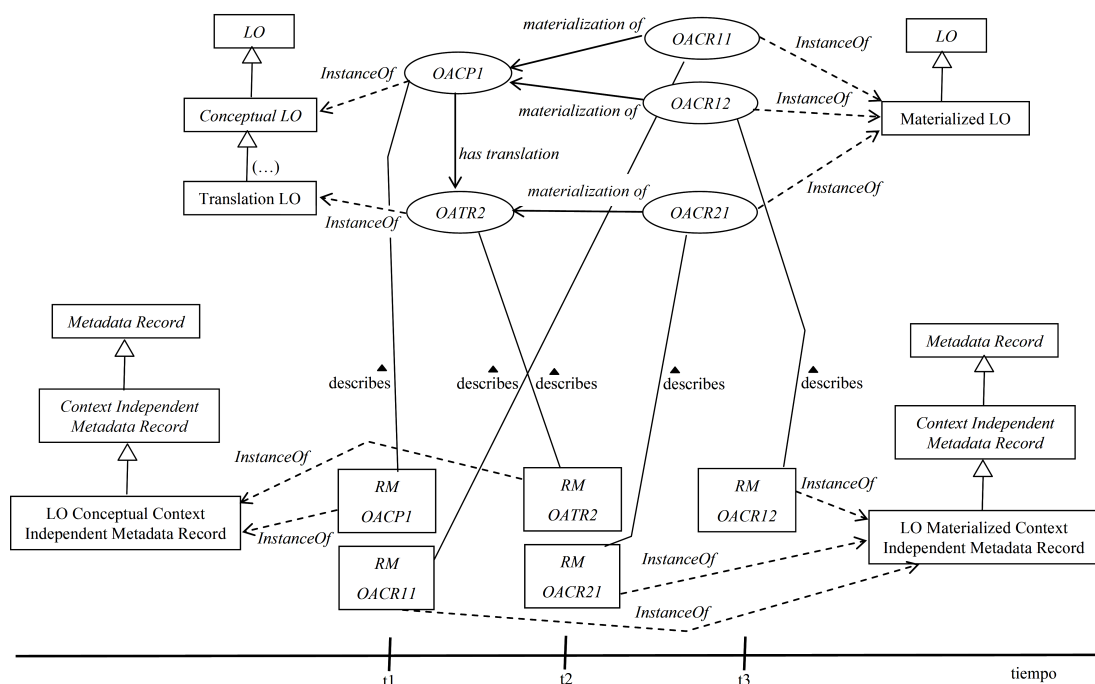


Figura 4.27: Ejemplo de orden de creación de los registros de metadatos de objetos de aprendizaje relacionados

A modo de ejemplo, y para el caso concreto de los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo, la creación de los registros de metadatos de los objetos de aprendizaje concreción, o se realiza al mismo tiempo que la creación del registro de metadatos del objeto conceptual con el que están relacionados, o con posterioridad en el tiempo. De manera similar, la creación de los registros de metadatos de los objetos de aprendizaje conceptuales derivados, en el tiempo, es posterior a la creación de los registros de metadatos de los objetos conceptuales de los cuales derivan. La situación también es aplicable a los registros de metadatos de los objetos de aprendizaje compuestos, dado que la creación de los objetos de aprendizaje compuestos surge a partir de los preexistentes.

La figura 4.27 muestra un ejemplo de orden de creación de una serie de registros de metadatos que describen un grupo de objetos de aprendizaje relacionados. Mientras la parte superior de la figura muestra los objetos de aprendizaje disponibles (dos objetos de aprendizaje conceptuales, uno de los cuáles es una traducción y todos los objetos

de aprendizaje concreción asociados a los dos conceptuales), la parte inferior muestra los instantes de creación de los registros de metadatos que describen cada uno de los objetos de aprendizaje.

Las condiciones sobre el orden de creación de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje se pueden representar a través de los metadatos de la categoría 3. *Meta-Metadata*, en concreto mediante los metadatos 3.2.1 *Role* and 3.2.3 *Date* del metadato agregado 3.2 *Contribute*.

En el caso de registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje, y sobre los ejemplos previamente presentados, sería necesario imponer restricciones de integridad que garanticen que las fechas de las contribuciones con rol creador del registro de metadatos asociado a un objeto de aprendizaje conceptual son anteriores (o iguales) a las fechas de las contribuciones con rol creador de los registros de metadatos de los objetos de aprendizaje con los que se relaciona (ya sea por materialización, derivación o composición).

De manera análoga, también existen restricciones de integridad que regulan el orden de creación de los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje, aunque en este caso, estas restricciones de integridad únicamente afectan a los conceptuales y sus posibles objetos de aprendizaje concreción asociados, dado que los contextos de uso educativo de los derivados y de los compuestos pueden ser completamente diferentes a los de los objetos de aprendizaje conceptuales de los cuales derivan.

Todas estas restricciones de integridad no se presentan en este trabajo de tesis, por considerar que no aportan valor añadido, ni a efectos de la descripción de los objetos de aprendizaje, ni a efectos de la descripción de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje.

Finalmente, es necesario recordar que cualquier registro de metadatos también está sujeto a las diferentes restricciones de integridad que se han expresado a lo largo de este capítulo. A modo de ejemplo, tal y como se ha especificado en la subsección 4.4.7, los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo que se asocian a un objeto de aprendizaje conceptual no pueden definir clasificaciones que tengan co-

mo propósito restricciones de acceso (metadato 9.1 *Purpose=accessibility restrictions*), dado que este propósito de clasificación únicamente es aplicable a objetos de aprendizaje concreción. En consecuencia, en todo caso, tal clasificación debería estar definida en un registro de metadatos independiente del contexto de uso de un objeto concreción.

4.5.6. Ejemplo de aplicación de la solución propuesta

En esta subsección se presenta cómo la solución propuesta en la subsección 4.5.4 para el modelado de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, resuelve las limitaciones presentadas en la subsección 4.5.3, tomando como base una extensión del ejemplo propuesto en dicha subsección.

La aplicación de la solución propuesta al ejemplo se muestra de manera esquemática en las figuras 4.28 y 4.29. Cada figura presenta uno los dos contextos de uso educativo. Concretamente la figura 4.28 muestra el aprendizaje de las competencias comunicativas (este contexto de uso educativo se denomina en la figura *ContextoA*), mientras que la figura 4.29 muestra el aprendizaje de los contenidos (este contexto de uso educativo se denota como *ContextoB*) asociados al objeto de aprendizaje del ejemplo, esto es, el artículo de congreso.

El objeto de aprendizaje entendido como obra conceptual queda identificado como *OACP* y está disponible en dos formatos de representación distintos que dan lugar a dos objetos de aprendizaje concreción, identificados respectivamente como *OACR1* y *OACR2*. Una de las dos concreciones (el objeto de aprendizaje *OACR1*) se utiliza en ambos contextos de uso educativo, mientras que una de las representaciones (el objeto de aprendizaje concreción *OACR2*) sólo se utiliza en el contexto de uso educativo identificado como *ContextoB*.

El ejemplo muestra que la solución propuesta resuelve las limitaciones de LOM, dado que identifica todos los posibles contextos de uso educativo, a la vez que agrupa, en registros de metadatos diferenciados, toda la información relativa a cada contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje. La solución propuesta permite saber, por ejemplo, qué objetivos educativos y qué competencias se desean que alcancen y adquieran (respectivamente) los destinatarios del objeto de aprendizaje en cada contexto de uso educativo, a la vez que queda establecido, por ejemplo, la dificultad o el tiempo de aprendizaje a dedicar al objeto de aprendizaje en cada contexto de uso educativo.

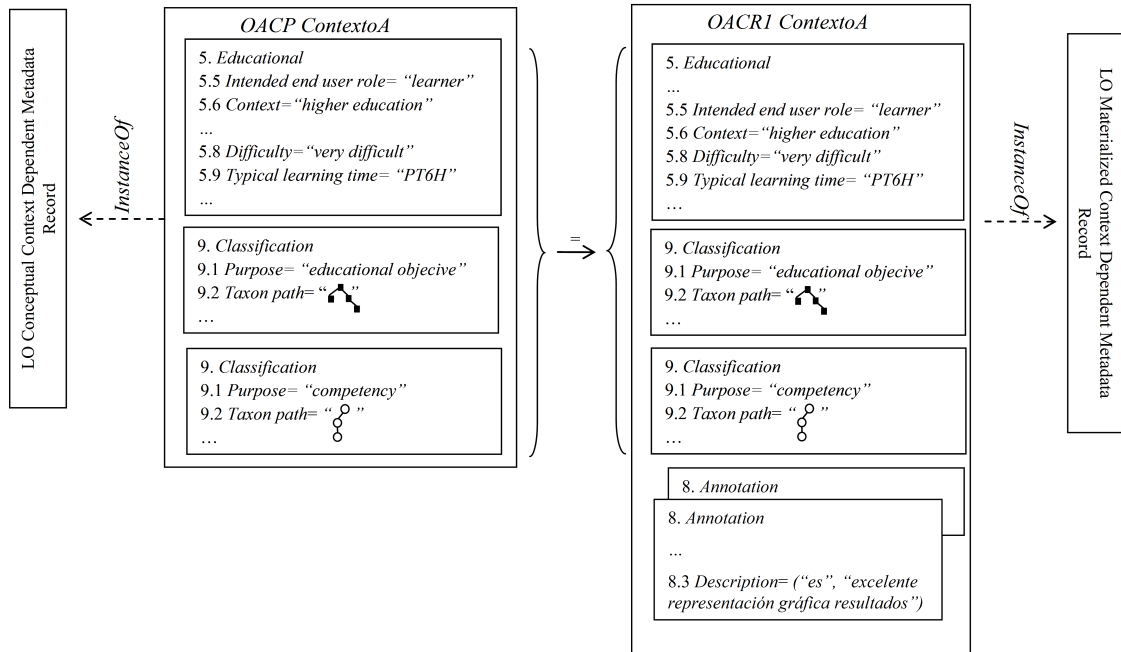


Figura 4.28: Ejemplo de registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (*ContextoA*)

Toda esta información queda recogida en los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo que asocian a cada objeto de aprendizaje conceptual. Estos registros también podrían definir sus propias anotaciones, aunque no es el caso del ejemplo. De manera similar, la solución propuesta también permite saber qué objetos de aprendizaje concreción se utilizan en cada contexto de uso educativo.

En concreto, el artículo de congreso, entendido como un objeto de aprendizaje conceptual (*OACP*) define dos registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo, uno para el contexto denotado como *ContextoA* y otro para el *ContextoB*. En las figuras 4.28 y 4.29, estos registros de metadatos se muestran en la parte izquierda, y son instancia de la clase *LO Conceptual Context Dependent Metadata Record*.

Por su parte, cada objeto de aprendizaje concreción que se utilice en cada posible contexto de uso educativo definirá su correspondiente registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo. Por lo tanto, sobre el ejemplo propuesto, se definen dos registros de metadatos para el *OACR1* (uno para el *ContextoA* y otro para el *ContextoB*) y un registro de metadatos para el *OACR2* (para el *ContextoB*).

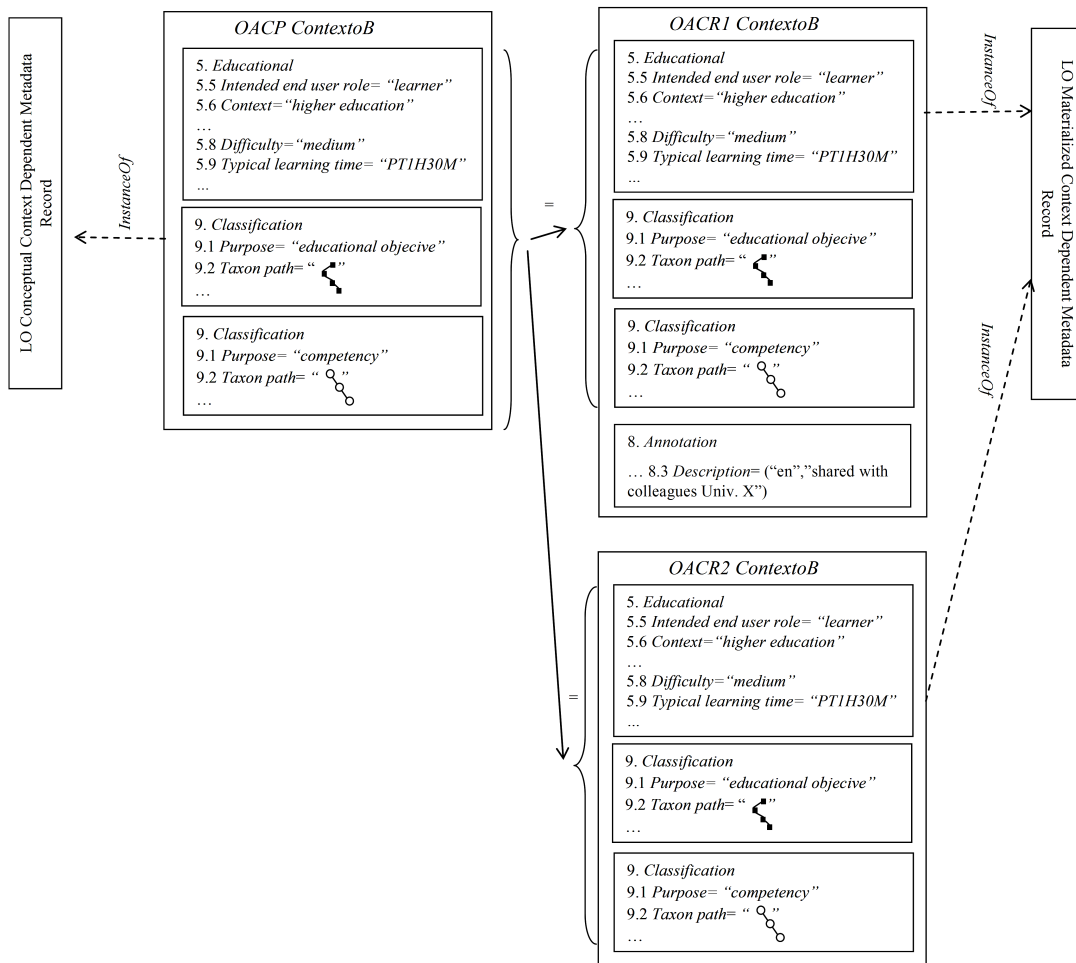


Figura 4.29: Ejemplo de registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (*ContextoB*)

Cada objeto de aprendizaje concreción que se utilice en un mismo contexto de uso educativo, va incorporar toda la información relativa a ese contexto de uso educativo que se encuentre definida en el registro de metadatos dependiente del contexto de uso del objeto de aprendizaje conceptual del cual constituye una materialización. Esta información, como ya se ha comentado, puede incluir propiedades educativas, clasificaciones y anotaciones.

Adicionalmente, cualquiera de los registros de metadatos dependientes del contexto de uso de los objetos de aprendizaje concreción pueden definir sus propias anotaciones y también clasificaciones (con propósito nivel de nivel seguridad, según se ha especificado en las subsecciones 4.4.7 y 4.5.4). Las anotaciones no son compartidas, ni con

otros posibles usos educativos de ese mismo objeto de aprendizaje concreción, ni con otras posibles concreciones del objeto de aprendizaje que se puedan usar en el mismo contexto de uso educativo. En consecuencia, se trata de anotaciones diferentes.

Los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo asociados a objetos de aprendizaje concreción se muestran en la parte derecha de las figuras 4.28 y 4.29, y son instancia de la clase *LO Materialized Context Dependent Metadata Record*. Sobre el ejemplo propuesto, no se definen clasificaciones adicionales sobre los objetos de aprendizaje concreción, aunque sí se muestran algunas anotaciones.

Para finalizar, como resumen, simplemente volver a destacar la imposibilidad de diferenciar todos los posibles contextos de uso educativo de un objeto de aprendizaje, cuando éstos se encuentran representados en un único registro de metadatos, teniendo en cuenta la estructuración de categorías propuesta por LOM. Cada contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje viene representado por una agrupación específica de propiedades educativas, clasificaciones y anotaciones. Cada una de estas agrupaciones específicas es la que queda representada en cada uno de los registros de metadatos que son instancia, de acuerdo a la solución propuesta en la subsección 4.5.4, de la clase *Context Dependent Metadata Record*.

Capítulo 5

Representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje

Para mí el tema de un cuadro y su fondo tienen el mismo valor o para decirlo más claramente, ningún punto es más importante que otro, sólo importa la composición, el patrón general; el cuadro se compone de la combinación de superficies colocadas de forma diferente, combinación que tiene como resultado crear una expresión.

Henri Matisse

En este capítulo se expone una representación basada en ontologías del marco conceptual para los objetos de aprendizaje propuesto en el capítulo 4. En concreto, para realizar dicha representación, se han desarrollado dos ontologías. Éstas son:

- Una ontología básica de LOM. Esta ontología representa los conceptos fundamentales asociados al estándar. Entre éstos se incluyen la noción de objeto de aprendizaje, los registros de metadatos que los describen, las categorías (junto con los metadatos que éstas incorporan) que conforman los registros de metadatos y los diferentes tipos de datos propuestos por LOM. Su descripción se aborda en la sección 5.1.
- Una ontología extendida de LOM. Esta ontología, construida sobre la base de la ontología básica, define las diferentes clases de objetos de aprendizaje de interés y su organización en jerarquías de especialización, de acuerdo a los criterios

establecidos en el capítulo anterior. Adicionalmente, la ontología también define las distintas relaciones no taxonómicas que se pueden establecer entre los objetos de aprendizaje. Dichas relaciones, de manera similar a las clases de objetos de aprendizaje, también se organizan de forma taxonómica. La descripción de estos elementos serán presentados en la sección 5.2. Para finalizar, la ontología extendida establece diferentes tipos de correspondencias con conceptos definidos en OpenCyc. Los aspectos relativos a este tema serán tratados en la sección 5.3.

Desde un punto de vista técnico, el lenguaje usado para la codificación de las ontologías es OWL (específicamente el subconjunto OWL DL de OWL 2¹). Adicionalmente, para la definición de ciertas restricciones de integridad presentadas en el capítulo precedente, no expresables directamente en OWL, se ha recurrido al lenguaje SWRL². Este lenguaje es una extensión de OWL basada en la combinación de OWL DL, OWL Lite y RuleML. Mediante SWRL es posible expresar cláusulas de Horn, es decir, reglas que permiten inferir que, si un antecedente es verdadero, el consecuente también lo es. A pesar de ello, es importante destacar que las ontologías no representan de manera completa el marco conceptual presentado en el capítulo 4. La sección 5.4 analiza las principales limitaciones encontradas. Por su parte, para verificar la consistencia de las ontologías, el razonador usado ha sido Pellet³ (en su versión 2.2.0). Dicho razonador soporta toda la expresividad de la lógica de descripciones. Para la creación de las ontologías se ha usado el editor Protégé⁴, en concreto la versión 4.2 alpha. La pestaña OWL Viz que éste incorpora ha sido utilizada para generar las figuras incluidas en este capítulo que muestran las taxonomías de clases definidas en las ontologías. En dichas figuras, las clases en color naranja se corresponden con clases definidas, mientras que las de color amarillo representan clases primitivas. Las primeras, en su definición, incluyen condiciones necesarias y suficientes, mientras que las segundas definen únicamente condiciones necesarias. Finalmente, en el apéndice B, también se ofrece información sobre las ontologías (dónde éstas están disponibles e instanciaciones creadas de las mismas).

¹OWL 2: <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

²SWRL: <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>

³Pellet: <http://clarkparsia.com/pellet/>

⁴Protégé: <http://protege.stanford.edu/>

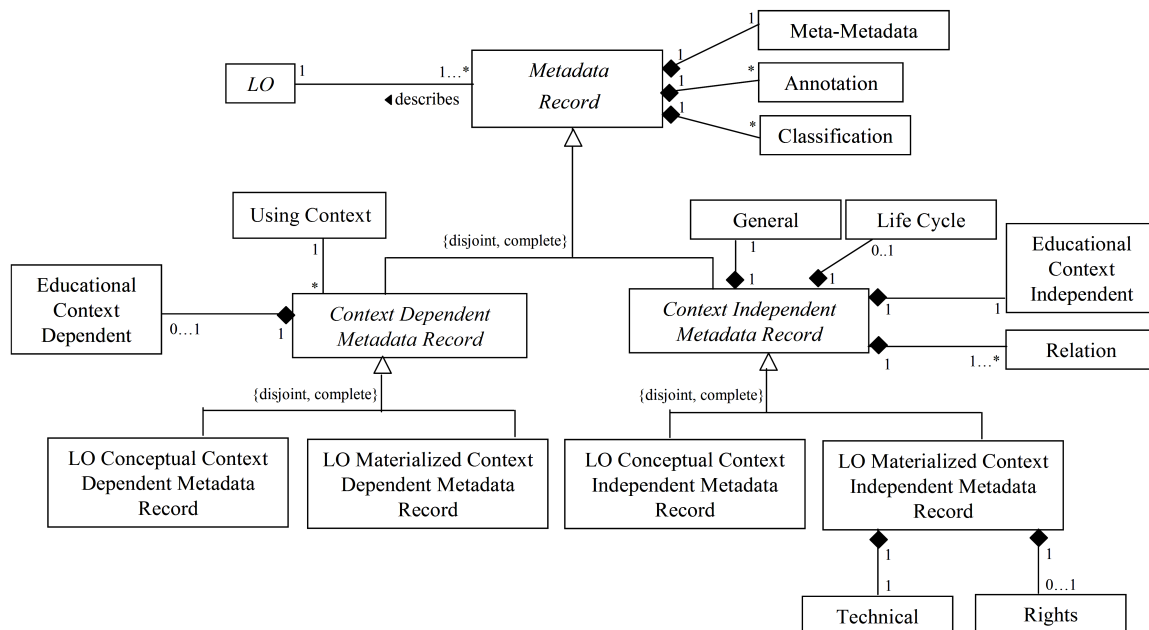


Figura 5.1: Especialización de los registros de metadatos y sus categorías

5.1. Ontología básica de LOM

El objetivo de esta sección es mostrar la ontología que representa el conocimiento básico relativo a los objetos de aprendizaje. Todo este conocimiento queda recogido en diferentes tipos de registros de metadatos que agrupan las categorías propuestas por el estándar LOM. Cada categoría, a su vez, incorpora un conjunto de metadatos. Las categorías (y en consecuencia los metadatos que éstas incluyen) que componen cada registro de metadatos dependen del tipo de registro bajo consideración, de acuerdo a lo presentado en la última sección del capítulo 4. El diagrama de clases UML de la figura 5.1 (también presentado en el capítulo anterior) muestra los diferentes tipos de registros de metadatos de interés, así como las categorías de LOM que éstos incorporan. Por su parte el esquema general de clases (y su organización taxonómica) contempladas en la ontología básica se muestran en la figura 5.2. Más específicamente, la ontología recoge los siguientes elementos:

1. Concepto de objeto de aprendizaje. Modela cualquier unidad didáctica –susceptible de ser especializada de acuerdo a diferentes criterios, tal y como se ha discutido en el capítulo 4– que puede ser utilizada en diversos contextos de uso educativo.



Figura 5.2: Taxonomía de clases de la ontología básica de LOM

El concepto de objeto de aprendizaje queda representado a través de la clase `OWL LearningObject`.

2. Concepto registro de metadatos. Modela cada una de las descripciones disponibles de los objetos de aprendizaje. Los diferentes tipos de registros de metadatos quedan representados en diversas clases OWL que se organizan en una jerarquía de especialización. La clase OWL que los generaliza se denomina `MetadataRecord`.
3. Concepto categoría de LOM. Modela las distintas categorías propuestas por LOM. Cada categoría queda representada por una clase OWL. Cada categoría contiene una serie de propiedades que representan los metadatos de LOM que incorpora. Las diferentes categorías se organizan en una jerarquía de especialización a partir de una clase OWL denominada `LOMCategory`.
4. Concepto metadato de LOM. Modela los metadatos propuestos por LOM para las diferentes categorías. Los metadatos quedan representados, de acuerdo a OWL, bien mediante *object properties* (en el caso que el rango asociado al metadato sea una clase OWL), bien mediante *data properties* (en el caso que el rango asociado al metadato sea alguno de los tipos de datos predefinidos por OWL). LOM distingue entre metadatos agregados y simples. Los metadatos agregados agrupan nuevos metadatos (agregados o simples) y requieren para su inclusión en la ontología de la definición de clases OWL. Estas clases incluyen como propiedades los metadatos que se agrupan en cada metadato agregado de LOM. Todas estas clases OWL quedan representadas como subclases de la clase `LOMAggregatedMetadata`.
5. Concepto tipo de datos de LOM. Modela los diferentes tipos de datos (como sería el caso, por ejemplo, de vocabularios) propuestos por LOM que no encuentran correspondencia con tipos predefinidos de OWL. Cada tipo de datos se representa con una clase OWL. Los diferentes tipos de datos de LOM se organizan en una jerarquía de especialización a partir de la clase OWL `LOMDataType`.
6. Otros elementos como sería el caso de otras clases OWL de interés (por ejemplo, la clase `UsingContext` la cual, tal y como se verá con posterioridad, está relacionada con la representación de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje) y diferentes reglas que permiten inferir nueva información o especificar los estados válidos de la ontología. Algunas de estas reglas se expresan en

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------------|--|-----------------------------|--|
| <code>isDescribedByMR</code> | <i>Object property</i> que cada objeto de aprendizaje define de manera obligatoria. Permite saber los registros de metadatos asociados a un objeto de aprendizaje. Tiene asociada como propiedad inversa la propiedad <code>describesLO</code> . | <code>MetadataRecord</code> | Card. Min=1. Si el registro de metadatos pertenece a la clase <code>ContextIndependentMetadataRecord</code> , Card. Max=1. |

Tabla 5.1: Propiedades de la clase `LearningObject`

OWL (junto con la definición de las diferentes clases OWL contenidas en la ontología), mientras que otras reglas (no expresables a nivel de clase OWL) quedan representadas en SWRL.

En las subsecciones que vienen a continuación se presentan de manera detallada cada uno de los elementos previamente mencionados.

5.1.1. Concepto de objeto de aprendizaje y registro de metadatos

La clase OWL `LearningObject` representa el concepto de objeto de aprendizaje. Se trata, en terminología OWL, de una clase definida. Las condiciones necesarias y suficientes para que una instancia (u objeto) de la ontología sea un objeto de aprendizaje es que quede descrito, como mínimo, a través de un registro de metadatos⁵ (estos registros de metadatos son instancia de la clase OWL `MetadataRecord`). Adicionalmente, en cada repositorio donde se almacene el objeto de aprendizaje, también se debe cumplir que, a lo sumo, éste quede descrito por un único registro de metadatos independiente del contexto de uso educativo⁶ (estos registros de metadatos son instancia de la clase OWL `ContextIndependentMetadataRecord`). Finalmente, la clase `LearningObject` es disjunta con todas y cada una de las clases (véase la figura 5.2) definidas en la ontología. La clase `LearningObject` sólo incorpora una propiedad, cuya descripción queda recogida en la tabla 5.1.

Por su parte, la clase OWL `MetadataRecord` representa el concepto registro de metadatos. Cada instancia de esta clase representa una descripción disponible de un objeto de aprendizaje. Existen, tal y como muestra la figura 5.1, diversos tipos de registros de metadatos en función de dos criterios que son ortogonales entre sí. El primero de estos

⁵Esta condición se corresponde con la restricción de integridad RI64 del capítulo 4.

⁶Esta condición se corresponde con la restricción de integridad RI71 del capítulo 4.

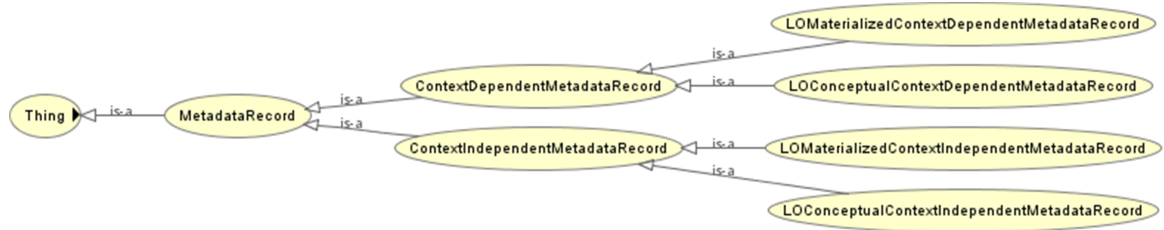


Figura 5.3: Taxonomía de registros de metadatos de la ontología básica de LOM

criterios tiene que ver con el hecho de si el registro de metadatos incluye metadatos cuyo valor depende del contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje, o por si al contrario incluye metadatos cuyo valor se va a mantener invariable, con independencia de los posibles contextos de uso educativo del objeto de aprendizaje. El segundo de estos criterios tiene que ver con el hecho de si el registro de metadatos describe un objeto de aprendizaje de naturaleza conceptual o concreción. Dependiendo del tipo de objeto de aprendizaje (véase la figura 5.1), la composición de los registros de metadatos puede variar. En la ontología, para cada tipo de registro de metadatos, existe su correspondiente clase OWL, tal y como muestra la figura 5.3.

La clase `MetadataRecord` se construye como la unión disjunta⁷ de sus subclases `ContextIndependentMetadataRecord` y `ContextDependentMetadataRecord`. En otras palabras, cada instancia de la clase `MetadataRecord` pertenece de manera obligatoria a una (y sólo a una) de las dos subclases anteriores. De manera análoga, las clases `ContextIndependentMetadataRecord` y `ContextDependentMetadataRecord` se construyen como la unión disjunta⁸ de sus subclases. Estas subclases son, en el caso de la clase `ContextIndependentMetadataRecord`, las subclases `LOConceptualContextIndependentMetadataRecord` y `LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord`. En el caso de la clase `ContextDependentMetadataRecord`, se trata de las subclases `LOConceptualContextDependentMetadataRecord` y `LOMaterializedContextDependentMetadataRecord`. La clase `ContextDependentMetadataRecord` incorpora una restricción de clase que garantiza que los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo no están vacíos⁹. Para acabar, la clase `MetadataRecord` (y en consecuencia sus subclases)

⁷Esta condición se corresponde con la restricción de integridad RI66 del capítulo 4.

⁸Estas condiciones se corresponden con las restricciones de integridad RI67 y RI68 del capítulo 4.

⁹Esta condición se relaciona con la RI75 del capítulo 4. Más concretamente, la RI75 impone que cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo defina o bien una instancia de la subcategoría representada por la clase *Educational Context Dependent*, o bien una instancia de la categoría 8. *Annotation*, o bien una instancia de la categoría 9. *Classification*.

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--------------------------|---|-----------------------|------------------------|
| describesLO | <i>Object property</i> funcional que cada registro de metadatos define de manera obligatoria. Permite saber cuál es el objeto de aprendizaje descrito por el registro de metadatos. Tiene asociada como propiedad inversa la propiedad <i>isDescribedByMR</i> . | LearningObject | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasMetaMetadata | <i>Object property</i> funcional obligatoria que permite asociar al registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 3. <i>Meta-Metadata</i> de LOM. | MetaMetadata | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasAnnotation | <i>Object property</i> que permite asociar al registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 8. <i>Annotation</i> de LOM. | Annotation | |
| hasClassification | <i>Object property</i> que permite asociar al registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 9. <i>Classification</i> de LOM. | Classification | |

Tabla 5.2: Propiedades de la clase `MetadataRecord`

es disjunta con cualquiera de las clases restantes (véase de nuevo la figura 5.2) definidas en la ontología.

Las tablas 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5 presentan, respectivamente, las propiedades asociadas a las clases `MetadataRecord`, `ContextIndependentMetadataRecord`, `LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord` y `ContextDependentMetadataRecord`. En el caso de las subclases se omiten las propiedades heredadas desde sus superclases. Es importante destacar que las clases `LOConceptualContextIndependentMetadataRecord`, `LOConceptualContextDependentMetadataRecord` y `LOMaterializedContextDependentMetadataRecord` no incorporan propiedades. Su inclusión en la ontología se realiza para hacer explícita su existencia y porque están sujetas a ciertas restricciones de integridad que quedan implementadas mediante reglas SWRL, tal y como se verá en la subsección 5.1.4.

Algunas propiedades, tal y como muestran las tablas 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5, son obligatorias. Este hecho se relaciona con la obligatoriedad de incluir ciertas categorías de LOM (véase la figura 5.1) en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje, de acuerdo a lo especificado en las restricciones de integridad RI64, RI65, RI72 y RI74 definidas en el capítulo 4. Para finalizar, la propiedad obligatoria `hasUsingContext` (véase la tabla 5.5) incluida en la clase `ContextDependentMetadataRecord`, sirve para representar el contexto de uso educativo con el que se relaciona cada uno de los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo. El uso de esta propiedad facilita la gestión de registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo que están relacionados entre sí.

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--|---|--------------------------------------|------------------------|
| hasGeneral | <i>Object property</i> funcional obligatoria que permite asociar al objeto de aprendizaje descrito por el registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 1. <i>General</i> de LOM. | General | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasLifeCycle | <i>Object property</i> funcional que permite asociar al registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 2. <i>Life Cycle</i> de LOM. | LifeCycle | Card. Max=1 |
| hasEducational-ContextIndependent | <i>Object property</i> obligatoria que permite asociar al registro de metadatos una instancia de ciertos metadatos de la categoría 5. <i>Educational</i> de LOM. El valor de dichos metadatos va a ser invariable con independencia de los posibles contextos de uso educativo del objeto de aprendizaje. | EducationalContextIndependent | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasRelation | <i>Object property</i> obligatoria que permite asociar al registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 7. <i>Relation</i> de LOM. Si el registro de metadatos describe un objeto de aprendizaje conceptual existirán tantas instancias de esta propiedad como objetos de aprendizaje concreción tenga asociado. Si el registro de metadatos describe un objeto de aprendizaje concreción, existirá una instancia de esta propiedad que indique el objeto de aprendizaje conceptual con el que se relaciona. | Relation | Card. Min=1 |

Tabla 5.3: Propiedades de la clase `ContextIndependentMetadataRecord`

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|---------------------|---|------------------|------------------------|
| hasRights | <i>Object property</i> funcional que permite asociar al objeto de aprendizaje descrito por el registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 6. <i>Rights</i> de LOM. | Rights | Card. Max=1 |
| hasTechnical | <i>Object property</i> funcional obligatoria que permite asociar al registro de metadatos una instancia de metadatos de la categoría 4. <i>Technical</i> de LOM. | Technical | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.4: Propiedades de la clase `LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord`

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--|---|------------------------------------|------------------------|
| hasUsingContext | <i>Object property</i> funcional que permite identificar de manera unívoca cada posible contexto de uso educativo de un objeto de aprendizaje. Cada registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo define de manera obligatoria una instancia de esta propiedad. | UsingContext | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasEducational-ContextDependent | <i>Object property</i> que permite asociar al registro de metadatos una instancia de ciertos metadatos de la categoría 5. <i>Educational</i> de LOM. El valor de dichos metadatos va a ser variable en función del contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje. | EducationalContextDependent | Card. Max=1 |

Tabla 5.5: Propiedades de la clase `ContextDependentMetadataRecord`

5.1.2. Concepto categoría LOM y metadatos asociados

El concepto categoría LOM queda representado en la ontología mediante la clase OWL `LOMCategory`. Esta clase queda definida como la unión disjunta de un conjunto de clases, cada una de las cuales representa una categoría concreta de LOM, tal y como muestra la figura 5.4. De manera análoga a las clases `LearningObject` y `MetadataRecord`, la clase `LOMCategory` (y por lo tanto sus subclases) es disjunta con cualquiera de las clases de la ontología mostradas en la figura 5.2.

A su vez, la clase `Educational` queda definida como la unión disjunta de dos clases. Estas clases son `EducationalContextIndependent` y `EducationalContextDependent`. Dichas clases resultan, de acuerdo a lo presentado en capítulo 4, del desdoblamiento de los metadatos incluidos en la categoría 5. *Educational* de LOM. Mientras que la clase `EducationalContextIndependent` recoge aquellos metadatos cuyo valor se va a mantener invariable, sean cuales sean los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, la clase `EducationalContextDependent` contiene aquellos metadatos cuyo valor varía en función de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. A pesar de que las categorías de LOM 8. *Annotation* y 9. *Classification* (representadas en la ontología mediante las clases OWL con el mismo nombre) también permiten representar información relativa a posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, no se ha procedido a su especialización en nuevas subclases. Esto es debido a que todos los metadatos especificados por LOM para cada una de estas categorías son de interés, con independencia que la categoría se relacione con un registro de metadatos dependiente o independiente del contexto de uso educativo. Los tipos de clasificación que pueden aparecer en cada registro de metadatos se regulan mediante la definición de reglas SWRL. Por su parte las anotaciones que se asocian a cada tipo de registro de metadatos, dada la naturaleza textual de las mismas en LOM, se delegan en los usuarios.

Cada una de las subclases de la clase `LOMCategory` define una serie de propiedades. Éstas se corresponden con los metadatos definidos en LOM para la categoría representada por la clase en cuestión. Como se ha comentado con anterioridad, los metadatos agregados requieren del uso de clases OWL que quedan generalizadas, tal y como muestra la figura 5.2, en `LOMAggregatedMetadata`. La clase `LOMAggregatedMetadata` queda definida como la unión disjunta de sus subclases.

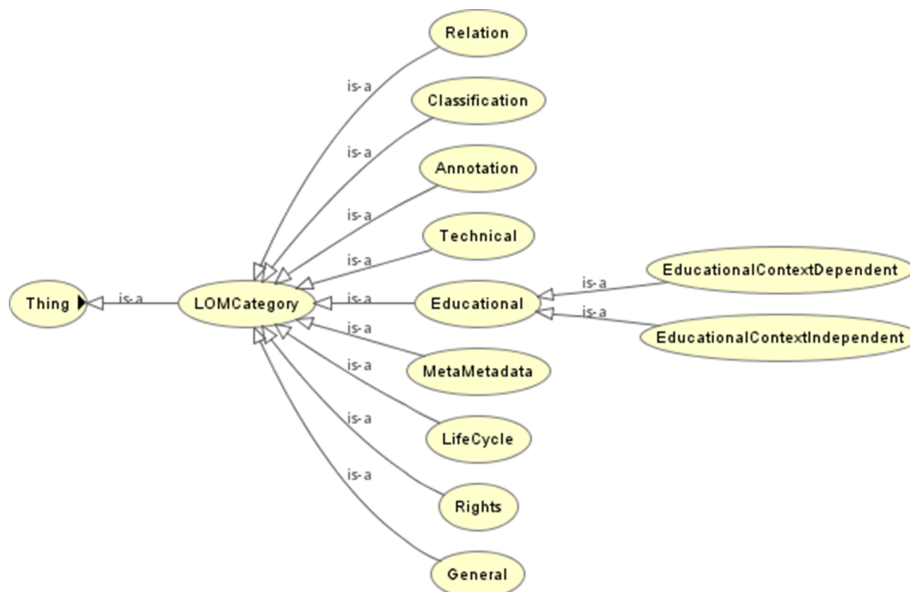


Figura 5.4: Taxonomía de categorías de la ontología básica de LOM

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|-----------------------|--|---------------------|---------------|
| hasLOIdentifier | <i>Object property</i> obligatoria que se corresponde con el metadato 1.1 <i>Identifier</i> de LOM. | Identifier | Card. Min=1 |
| hasTitle | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 1.2 <i>Title</i> de LOM. | LangString | Card. Max=1 |
| hasLanguageGeneral | <i>Data property</i> que se corresponde con el metadato 1.3 <i>Language</i> de LOM. | string | |
| hasDescriptionGeneral | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 1.4 <i>Description</i> de LOM. | LangString | |
| hasKeywordGeneral | <i>Object property</i> obligatoria que se corresponde con el metadato 1.5 <i>Keyword</i> de LOM. | LangString | Card. Min=1 |
| hasCoverage | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 1.6 <i>Coverage</i> de LOM. | LangString | |
| hasStructure | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 1.7 <i>Structure</i> de LOM. | LOMStructure | Card. Max=1 |
| hasAggregationLevel | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 1.8 <i>Aggregation level</i> de LOM. | LOMAggregationLevel | Card. Max=1 |

Tabla 5.6: Propiedades de la clase General

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------|--|------------|---------------|
| hasVersion | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 2.1 <i>Version</i> de LOM. | LangString | Card. Max=1 |
| hasStatus | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 2.2 <i>Status</i> de LOM. | LOMStatus | Card. Max=1 |
| hasContributeLifeCycle | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 2.3 <i>Contribute</i> de LOM. | Contribute | |

Tabla 5.7: Propiedades de la clase LifeCycle

Las tablas 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15 muestran las propiedades asociadas a las clases OWL que representan cada una de las categorías de LOM.

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|---------------------------|---|------------|---------------|
| hasMetaMetadataIdentifier | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 3.1 <i>Identifier</i> . | Identifier | |
| hasContributeMetaMetadata | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 3.2 <i>Contribute</i> de LOM. Al menos es obligatorio incluir una contribución con rol creador. | Contribute | Card. Min=1 |
| hasMetadataScheme | <i>Data property</i> obligatoria que se corresponde con el metadato 3.3 <i>Metadata Scheme</i> de LOM. | string | Card. Min=1 |
| hasLanguageMetadata | <i>Data property</i> funcional que se corresponde con el metadato 3.4 <i>Language</i> de LOM. | string | Card. Max=1 |

Tabla 5.8: Propiedades de la clase MetaMetadata

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------------|--|-------------|---------------|
| hasFormat | <i>Data property</i> obligatoria que se corresponde con el metadato 4.1 <i>Format</i> de LOM. | string | Card. Min=1 |
| hasSize | <i>Data property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.2 <i>Size</i> de LOM. | string | Card. Max=1 |
| hasLocation | <i>Data property</i> obligatoria que se corresponde con el metadato 4.3 <i>Location</i> de LOM. | anyURI | Card. Min=1 |
| hasRequirement | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 4.4 <i>Requirement</i> de LOM. | Requirement | |
| hasInstallationRemarks | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.5 <i>Installation remarks</i> de LOM. | LangString | Card. Max=1 |
| hasOtherPlatformRequirements | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.6 <i>Other platform requirements</i> de LOM. | LangString | Card. Max=1 |
| hasDuration | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.7 <i>Duration</i> de LOM. | Duration | Card. Max=1 |

Tabla 5.9: Propiedades de la clase Technical

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|-------------------------|---|--------------------------------------|---------------|
| hasInteractivityType | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 5.1 <i>Interactivity type</i> de LOM. | LOMInteractivityType | Card. Max=1 |
| hasLearningResourceType | <i>Object property</i> obligatoria que se corresponde con el metadato 5.2 <i>Learning resource type</i> de LOM. | ExtendedLOMLearningResourceType | Card. Min=1 |
| hasInteractivityLevel | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 5.3 <i>Interactivity level</i> de LOM. | LOMInteractivityLevelSemanticDensity | Card. Max=1 |
| hasSemanticDensity | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 5.4 <i>Semantic density</i> de LOM. | LOMInteractivityLevelSemanticDensity | Card. Max=1 |
| hasLanguageEducational | <i>Data property</i> que se corresponde con el metadato 5.11 <i>Language</i> de LOM. | string | |

Tabla 5.10: Propiedades de la clase EducationalContextIndependent

Tal y como ya se ha discutido (véase la figura 5.1), las categorías representadas por las clases OWL `General`, `MetaMetadata`, `Technical`, `EducationalContextIndependent` y `Relation` son de aparición obligatoria en función del tipo de registro de metadatos bajo consideración. Las tablas 5.6, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.13 incluyen, de acuerdo a lo presentado

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|---------------------------|--|------------------------|---------------|
| hasIntendedEndUserRole | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 5.5 <i>Intended end user role</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <code>EducationalContextDependent</code> , la propiedad es obligatoria. | LOMIntendedEndUserRole | Card. Min=1 |
| hasContext | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 5.6 <i>Context</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <code>EducationalContextDependent</code> , la propiedad es obligatoria. | LOMContext | Card. Min=1 |
| hasTypicalAgeRange | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 5.7 <i>Typical age range</i> de LOM. | LangString | |
| hasDifficulty | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 5.8 <i>Difficulty</i> de LOM. | LOMDifficulty | Card. Max=1 |
| hasTypicalLearningTime | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 5.9 <i>Typical learning time</i> de LOM. | Duration | Card. Max=1 |
| hasDescriptionEducational | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 5.10 <i>Language</i> de LOM. | LangString | |

Tabla 5.11: Propiedades de la clase `EducationalContextDependent`

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|----------------------------------|---|------------------------------|------------------------|
| hasCost | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 6.1 <i>Cost</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <code>Rights</code> , la propiedad es obligatoria. | LOMCostCopyrightRestrictions | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasCopyrightAndOtherRestrictions | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 6.2 <i>Copyright and other restrictions</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <code>Rights</code> , la propiedad es obligatoria. | LOMCostCopyrightRestrictions | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasDescriptionRights | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 6.3 <i>Description</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <code>Rights</code> , la propiedad es obligatoria. | LangString | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.12: Propiedades de la clase `Rights`

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|-------------|---|-------------------------|------------------------|
| hasKind | <i>Object property</i> funcional obligatoria que se corresponde con el metadato 7.1 <i>Kind</i> de LOM. | ExtendedLOMRelationKind | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasResource | <i>Object property</i> funcional obligatoria que se corresponde con el metadato 7.2 <i>Resource</i> de LOM. | Resource | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.13: Propiedades de la clase `Relation`

en el capítulo 4, las propiedades que es obligatorio definir. Por su parte, las categorías representadas por las clases OWL `LifeCycle`, `EducationalContextDependent`, `Rights`, `Annotation` y `Classification` son opcionales. A pesar de ello, si un registro de metadatos incluye una instancia de alguna de estas categorías, dicha instancia debe incluir la definición de ciertas propiedades. En las tablas 5.11, 5.12 y 5.14 y 5.15 se indican, respectivamente, qué propiedades son de inclusión obligatoria en las categorías

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--------------------------|--|------------|------------------------|
| hasEntityAnnotation | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 8.1 <i>Entity</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <i>Annotation</i> , la propiedad es obligatoria. | VCard | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasDateAnnotation | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 8.2 <i>Date</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <i>Annotation</i> , la propiedad es obligatoria. | DateTime | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasDescriptionAnnotation | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 8.3 <i>Description</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <i>Annotation</i> , la propiedad es obligatoria. | LangString | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.14: Propiedades de la clase *Annotation*

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------------|--|------------|------------------------|
| hasPurpose | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 9.1 <i>Purpose</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <i>Classification</i> , la propiedad es obligatoria. | LOMPurpose | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasTaxonPath | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 9.2 <i>Taxon path</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase <i>Classification</i> , la propiedad es obligatoria. | TaxonPath | Card. Min=1 |
| hasDescriptionClassification | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 9.3 <i>Description</i> de LOM. | LangString | Card. Max=1 |
| hasKeywordClassification | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 9.4 <i>Keyword</i> de LOM. | LangString | |

Tabla 5.15: Propiedades de la clase *Classification*

representadas por las clases OWL *EducationalContextDependent*, *Rights*, *Annotation* y *Classification*. En el caso de la clase OWL *LifeCycle*, no se define ninguna obligatoriedad específica para ninguna de sus propiedades (véase la tabla 5.7), aunque se fuerza (a través de una restricción definida a nivel de clase), a la aparición de al menos una de las propiedades que incluye.

Es importante destacar que en LOM el nombre de ciertos metadatos está repetido en diferentes categorías. LOM desambigua estos metadatos con nombre idéntico mediante el par de números (separados por un punto) que precede el nombre de todo metadato. Estos números representan, respectivamente, la categoría a la que pertenece el metadato y su orden de aparición dentro de la categoría. Uno de estos metadatos con nombre repetido es, por ejemplo, el metadato *Description* que aparece en las categorías de LOM 1. *General*, 5. *Educational*, 6. *Rights*, 7. *Relation*, 8. *Annotation* y 9. *Classification*. Los metadatos de LOM con mismo nombre, en general, tienen asociada semántica diferente, aunque relacionada. En el caso del mencionado metadato *Description* se trata de descripciones del objeto de aprendizaje realizadas desde diferentes

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|-----------------------------|--|---------------|------------------------|
| hasIdentifierCatalog | <i>Data property</i> funcional que define el esquema de catalogación usado en la definición del identificador. Si se define una instancia de la clase Identifier , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasIdentifierEntry | <i>Data property</i> funcional que define el identificador asignado dentro del esquema de catalogación. Si se define una instancia de la clase Identifier , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.16: Propiedades de la clase **Identifier**

puntos de vista y con diferentes objetivos. A modo de ejemplo, el metadato 1.4 *Description* de la categoría 1. *General* define la descripción general del contenido asociado al objeto de aprendizaje, mientras que el metadato 5.10 *Description* de la categoría 5. *Educational* permite especificar cómo el objeto de aprendizaje debe ser utilizado en un contexto de uso educativo concreto. La situación descrita, en la ontología, se resuelve tal y como se describe a continuación:

1. Los metadatos con nombre idéntico que aparecen en diferentes categorías quedan representados mediante propiedades que tienen asociado un nombre diferente. Sobre el ejemplo propuesto, la propiedad que se corresponde con el metadato 1.4 *Description* tiene por nombre **hasDescriptionGeneral** (esta propiedad se incluye en la clase **General**, tal y como muestra la tabla 5.6), mientras que el metadato 5.10 *Description* se corresponde con la propiedad **hasDescriptionEducational** de la clase **EducationalContextDependent** (véase la tabla 5.11). Aparte de tener asociados dominios diferentes, cada propiedad puede definir características propias. En el ejemplo propuesto, este sería el caso de la propiedad **hasDescriptionAnnotation** de la clase **Annotation** (esta propiedad se muestra en la tabla 5.14) que, a diferencia de las propiedades anteriormente mencionadas, es funcional.
2. Las propiedades que representan estos metadatos con nombre idéntico, dado que comparten semántica, quedan generalizados en una propiedad más general. Este sería el caso de las propiedades de ejemplo **hasDescriptionGeneral**, **hasDescriptionEducational** y **hasDescriptionAnnotation** que son subpropiedad de una propiedad más general denominada **hasDescription** que tiene como dominio la unión de todos los posibles dominios de sus subpropiedades.

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|---------------------|---|---|---------------------------|
| hasRoleContribute | <i>Object property</i> funcional que define el rol de la entidad que realiza la contribución. Si se define una instancia de la clase Contribute , la propiedad es obligatoria. | LOMRoleContribute- LifeCycle o LOMRoleContribute- MetaMetadata | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasEntityContribute | <i>Object property</i> que define la entidad que realiza la contribución. Si se define una instancia de la clase Contribute , la propiedad es obligatoria. | VCard | Card. Min=1 |
| hasDateContribute | <i>Object property</i> funcional que define la fecha en que se realiza la contribución. | DateTime | Card. Max=1 |

Tabla 5.17: Propiedades de la clase **Contribute**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|----------------|--|-------------|---------------|
| hasOrComposite | <i>Object property</i> que define requisitos técnicos alternativos para el uso del objeto de aprendizaje. Si se define una instancia de la clase Requirement , la propiedad es obligatoria. | OrComposite | Card. Min=1 |

Tabla 5.18: Propiedades de la clase **Requirement**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------|---|------------|---------------|
| hasRelatedLOIdentifier | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 7.2.1 <i>Identifier</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase Resource , la propiedad es obligatoria. | Identifier | Card. Min=1 |
| hasDescriptionResource | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 7.2.2 <i>Description</i> de LOM. | LangString | |

Tabla 5.19: Propiedades de la clase **Resource**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|-----------|--|------------|---------------------------|
| hasSource | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 9.2.1 <i>Source</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase TaxonPath , la propiedad es obligatoria. | LangString | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasTaxon | <i>Object property</i> que se corresponde con el metadato 9.2.2 <i>Taxon</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase TaxonPath , la propiedad es obligatoria. | Taxon | Card. Min=1 |

Tabla 5.20: Propiedades de la clase **TaxonPath**

Para acabar de completar la descripción de las diferentes categorías, las tablas 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 muestran las clases OWL (a su vez subclases de la clase **LOMAggregatedMetadata**) que permiten definir las propiedades (algunas de ellas, de acuerdo al capítulo 4, son obligatorias) que representan los metadatos de LOM que se agregan en metadatos compuestos. Estas clases son, respectivamente, las clases **Identifier**, **Contribute**, **Requirement**, **Resource** y **TaxonPath**. Las clases **Requirement** y **TaxonPath**, a su vez, definen propiedades con nuevas clases OWL (las clases **OrComposite** y **Taxon** mostradas en las tablas 5.21 y 5.22). Esto se debe a que las clases **Requirement**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--------------------------|--|----------------|------------------------|
| hasType | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.4.1.1 <i>Type</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase OrComposite , la propiedad es obligatoria. | LOMType | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasName | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.4.1.2 <i>Name</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase OrComposite , la propiedad es obligatoria. | LOMName | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasMinimumVersion | <i>Data property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.4.1.3 <i>Minimum version</i> de LOM. | string | Card. Max=1 |
| hasMaximumVersion | <i>Data property</i> funcional que se corresponde con el metadato 4.4.1.4 <i>Maximum version</i> de LOM. | string | Card. Max=1 |

Tabla 5.21: Propiedades de la clase **OrComposite**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|----------------------|---|-------------------|------------------------|
| hasId | <i>Data property</i> funcional que se corresponde con el metadato 9.2.2.1 <i>Id</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase Taxon , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasTaxonEntry | <i>Object property</i> funcional que se corresponde con el metadato 9.2.2.2 <i>Entry</i> de LOM. Si se define una instancia de la clase Taxon , la propiedad es obligatoria. | LangString | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.22: Propiedades de la clase **Taxon**

y **TaxonPath** se relacionan con los metadatos agregados de LOM 4.4 *Requirement* y 9.2 *Taxon path* que también incorporan metadatos agregados. En concreto estos metadatos son, respectivamente, los metadatos 4.4.1 *OrComposite* y 9.2.2 *Taxon*.

Para finalizar, es importante destacar que la propiedad **hasRoleContribute** de la clase **Contribute** (véase la tabla 5.17) define como posibles rangos las clases **LOMRoleContributeLifeCycle** y **LOMRoleContributeMetaMetadata**. Se trata de dos clases que representan dos vocabularios diferenciados de LOM y serán tratadas con posterioridad en la subsección 5.1.3. En el caso de contribuciones relativas al estado de los objetos de aprendizaje el rango debe ser **LOMRoleContributeLifeCycle**, mientras que para contribuciones acerca del estado de los registros de metadatos el rango debe ser **LOMRoleContributeMetaMetadata**. El uso consistente de la propiedad **hasRoleContribute** se garantiza mediante reglas SWRL, tal y como se verá en la subsección 5.1.4.

5.1.3. Concepto tipo de datos de LOM

LOM define una serie de tipos de datos para los metadatos. Estos tipos de datos son los que se indican a continuación:

- *CharacterString* para representar cadenas de caracteres de naturaleza diversa.
- *DateTime* permite representar información temporal (fecha y hora) con la precisión que se considere necesaria, así como su descripción.
- *Duration* permite representar intervalos de tiempo con la precisión que se considere necesaria, además de su descripción.
- *LangString* se trata de listas de pares de cadenas de caracteres. Se utilizan para realizar descripciones permitiendo representar, además de la propia descripción, el idioma en que ésta se realiza. La inclusión de diferentes pares de una misma lista se utiliza para proporcionar descripciones alternativas o realizar traducciones de las descripciones.
- *Vocabulary* representa conjuntos de valores apropiados para ciertos metadatos creados por una fuente.

El tipo de datos *CharacterString* encuentra correspondencia, al menos, con el tipo de datos predefinido de OWL **string**. En algunos casos, dependiendo del metadato bajo consideración, pueden existir tipos de datos OWL más apropiados que la propuesta de utilización del tipo de datos *CharacterString* realizada por el propio LOM. Este sería el caso, por ejemplo, del metadato 4.3 *Location* de la categoría 4. *Technical*. En la ontología, tal y como muestra la tabla 5.9 para su propiedad equivalente (esta propiedad es **hasLocation**), se ha elegido como rango el tipo de datos predefinido de OWL **anyURI**.

En otros casos, se opta por la creación de una clase OWL que haga explícita semántica que en otro caso quedaría implícita en la cadena de caracteres. La situación descrita sería aplicable a los metadatos *Entity* que figuran en las categorías 2. *Life Cycle* y 3. *Meta-Metadata* (en cada una de estas categorías el metadato *Entity* forma parte del metadato agregado *Contribute*) y 8. *Annotation*. Los metadatos *Entity*, en función de la categoría en la que se incluyen, permiten recoger información detallada sobre entidades (personas o instituciones) que realizan diferentes tipos de contribuciones u opiniones sobre los objetos de aprendizaje o los registros de metadatos. Entre la información

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------------|---|---------------|------------------------|
| hasEntityName | <i>Data property</i> funcional que permite especificar el nombre de la persona o institución que realiza una contribución o anotación. Si se define una instancia de la clase VCard , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasEntityEmail | <i>Data property</i> funcional que permite especificar el correo electrónico de la persona o institución que realiza una contribución o anotación. | string | Card. Max=1 |
| hasEntityOrganization | <i>Data property</i> funcional que permite especificar la afiliación de la persona que realiza una contribución o anotación. | string | Card. Max=1 |

Tabla 5.23: Propiedades de la clase **VCard**

que se recoge de cada entidad se incluye, por ejemplo, su nombre, afiliación y correo electrónico. En la ontología, para hacer explícita dicha información, se ha definido la clase **VCard**¹⁰. Esta clase constituye el rango de las propiedades que representan los metadatos *Entity* en las categorías anteriormente mencionadas (estas propiedades son, respectivamente, **hasEntityContribute** y **hasEntityAnnotation**, y se muestran en las tablas 5.17 y 5.14). La clase **VCard**, tal y como se puede apreciar en la figura 5.2, no forma parte de la taxonomía de clases que representan los tipos de datos de LOM, dado que no está explícitamente considerada como tal en LOM. Adicionalmente, la clase **VCard** es disjunta con el resto de clases definidas en la ontología. Las propiedades (junto con su posible obligatoriedad) que esta clase define se muestran en la tabla 5.23.

Por su parte, para el resto de tipos de datos contemplados por LOM, se han creado clases OWL. Estas clases son **DateTime**, **Duration**, **LangString** (que a su vez requiere de la clase **SingleLangString**) y **Vocabulary**. Todas estas clases, como muestra la figura 5.2, son subclase de la clase **LOMDataType** que queda definida como la union disjunta de todas ellas. La clase **LOMDataType** (y por lo tanto también sus subclases) es disjunta con el resto de clases definidas en la ontología.

Las tablas 5.24 y 5.25 presentan, respectivamente, las propiedades asociadas a las clases **DateTime** y **Duration**, de acuerdo a lo especificado por LOM. Para la definición de estas clases también se podría haber utilizado conocimiento disponible en otras ontologías, como sería el caso de la Time Ontology propuesta por el World Wide Web Consortium¹¹. Por su parte la tabla 5.26 muestra las propiedades asociadas a la clase

¹⁰La definición de esta clase se hace de acuerdo a lo especificado en el IETF RFC vCard MIME Directory Profile, disponible en <http://www.rfc-ref.org/RFC-TEXTS/2426/index.html>.

¹¹Time Ontology W3C: <http://www.w3.org/TR/owl-time/>.

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|-------------------------|--|-------------------|------------------------|
| hasDateTimeValue | <i>Data property</i> funcional que permite especificar un punto en el tiempo (fecha y hora). Si se define una instancia de la clase DateTime , la propiedad es obligatoria. | dateTime | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasDescriptionDate-Time | <i>Object property</i> funcional que permite describir la información temporal especificada. | LangString | Card. Max=1 |

Tabla 5.24: Propiedades de la clase **DateTime**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------------------|--|-------------------|------------------------|
| hasDurationValue | <i>Data property</i> funcional que permite especificar un intervalo de tiempo. Si se define una instancia de la clase Duration , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasDescriptionDuration | <i>Object property</i> funcional que permite describir el intervalo de tiempo especificado. | LangString | Card. Max=1 |

Tabla 5.25: Propiedades de la clase **Duration**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--------------------------|--|-------------------------|---------------|
| includesSingleLangString | <i>Object property</i> que permite especificar una lista de pares de caracteres. Si se define una instancia de la clase LangString , la propiedad es obligatoria. | SingleLangString | Card. Min=1 |

Tabla 5.26: Propiedades de la clase **LangString**

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|------------|--|---------------|------------------------|
| hasValue | <i>Data property</i> funcional que permite especificar una descripción. Si se define una instancia de la clase SingleLangString , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |
| inLanguage | <i>Data property</i> funcional que permite especificar el idioma en que está expresada la descripción. Si se define una instancia de la clase SingleLangString , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.27: Propiedades de la clase **SingleLangString**

LangString. Dicha clase, a su vez, requiere de la clase **SingleLangString**. Las propiedades de esta última clase se muestran en la tabla 5.27. Las diferentes tablas también incluyen la obligatoriedad de definir ciertas propiedades.

En relación al tipo de datos *Vocabulary*, para su representación, se han creado una serie de clases OWL organizadas de manera taxonómica a partir de la clase OWL **Vocabulary**. Dicha taxonomía de clases (en concreto, la taxonomía inferida) que organiza los distintos vocabularios se presenta en la figura 5.5. A continuación se explican los motivos por los cuales se ha creado una taxonomía de clases para la representación de vocabularios:



Figura 5.5: Taxonomía de vocabularios de la ontología básica de LOM

1. Se desea permitir el uso, para ciertos metadatos, de vocabularios creados por diferentes fuentes. De acuerdo a lo presentado en el capítulo 4 estas fuentes son, además de LOM, Dublin Core y OpenCyc. En la taxonomía de vocabularios, el prefijo LOM, DC y OpenCyc en el nombre de las clases denota la fuente de origen. Como consecuencia de esta decisión, es necesario que la ontología registre (mediante una *data property*) la fuente de origen de cada vocabulario.
2. Adicionalmente se pretende permitir el uso de vocabularios que combinen diversas fuentes de procedencia. Este sería el caso, tal y como se ha explicado en el capítulo 4, de los vocabularios asociados a los metadatos 5.2 *Learning resource type* y 7.1 *Kind* pertenecientes, respectivamente, a las categorías 5. *Educational* y 7. *Relation*. Estas clases, en la taxonomía de vocabularios, incorporan el prefijo ExtendedLOM en el nombre de las clases y quedan definidas como la unión de los vocabularios de las fuentes que se desean combinar. Como consecuencia de esta decisión, las subclases de la clase **Vocabulary** no siempre son disjuntas.
3. Permite tratar mediante una única clase aquellos vocabularios que son compartidos por diferentes metadatos, concentrando la definición de restricciones de rango de valores permitidos a nivel de clase, en lugar que estas restricciones queden dispersas en cada una de las propiedades que definen como rango el vocabulario en cuestión. Éste sería el caso, por ejemplo, de la clase **LOMInteractivityLevelSemanticDensity** que se corresponde con el vocabulario propuesto por LOM para expresar el nivel de interactividad que caracteriza a los objetos de aprendizaje y su densidad semántica.
4. Ayuda a centralizar la definición (y el mantenimiento) de restricciones de integridad en las que participan metadatos que tienen un vocabulario como tipo de datos. Además de las ya mencionadas restricciones de rango de valores permitidos (que se incluyen a nivel de cada clase OWL que representa un vocabulario concreto), existen otras restricciones de integridad que se especifican mediante reglas SWRL. En ocasiones, para definir estas reglas SWRL, es necesario particionar los vocabularios en subvocabularios. Esto da lugar a la creación de nuevas subclases a partir de la clase que representa el vocabulario particionado. Ésta es la situación de la clase **LOMPurpose** que representa los posibles propósitos de clasificación de los objetos de aprendizaje propuestos por LOM. Tal y como se verá en

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|----------------------------|---|---------------|------------------------|
| hasVocabularySource | <i>Data property</i> funcional que permite especificar la fuente de un vocabulario. Si se define una instancia de la clase Vocabulary , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |
| hasVocabularyValue | <i>Data property</i> funcional que permite especificar un valor válido para el vocabulario. Si se define una instancia de la clase Vocabulary , la propiedad es obligatoria. | string | Card. Min= Card. Max=1 |

Tabla 5.28: Propiedades de la clase **Vocabulary**

la subsección 5.1.4, cada una de las subclases asociadas a la clase **LOMPurpose**, participa en reglas SWRL diferenciadas.

5. El uso de clases para la representación de vocabularios facilita su transformación en taxonomías de clases, tal y como se verá en la sección 5.2.
6. Proporciona un mecanismo para la adición de nuevos vocabularios, así como su posible uso combinado con otros vocabularios ya existentes. Para ello simplemente sería necesario añadir las clases que representen los nuevos vocabularios o las clases que representan los nuevos vocabularios combinados.

La tabla 5.28 muestra las propiedades (ambas obligatorias) asociadas a la clase **Vocabulary**. Como ya se ha explicado cada subclase, en función de la fuente de procedencia y del vocabulario bajo consideración, restringe el rango de valores permitidos. A modo de ejemplo, a continuación se muestra la restricción definida en la clase **LOMStructure**. Esta restricción, definida como condición necesaria y suficiente, especifica el rango de valores permitidos para las propiedades **hasVocabularyValue** y **hasVocabularySource** que tienen que declarar las instancias de la clase **LOMStructure**.

```
((hasVocabularyValue value ‘‘atomic’’) or
(hasVocabularyValue value ‘‘collection’’) or
(hasVocabularyValue value ‘‘hierarchical’’) or
(hasVocabularyValue value ‘‘linear’’) or
(hasVocabularyValue value ‘‘networked’’))
and (hasVocabularySource value ‘‘LOM’’)
```

5.1.4. Reglas SWRL

En esta subsección se presentan las reglas que no han podido ser expresadas en la definición de las clases o propiedades de la ontología básica de LOM, debido a que involucran instancias que pertenecen a diferentes clases. Estas reglas quedan expresadas en SWRL. Se trata de dos grupos de reglas. El primero especifica los propósitos de clasificación aplicables a los registros de metadatos, en función de su tipología. Por su parte, el segundo grupo de reglas define el uso consistente de contribuciones en los registros de metadatos.

Las reglas SWRL del primer grupo son las que se presentan a continuación:

- Regla que especifica los propósitos de clasificación aplicables a los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo. Se relaciona con la restricción de integridad RI73 del capítulo 4.

```
MetadataRecord(?MR), Classification(?C), hasClassification(?MR,?C),  
hasPurpose(?C,?P), LOMPurposeContextIndependent(?P)  
→ ContextIndependentMetadataRecord(?MR)
```

- Regla que define los propósitos de clasificación aplicables a los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo. Se relaciona con la restricción de integridad RI76 del capítulo 4.

```
MetadataRecord(?MR), Classification(?C), hasClassification(?MR,?C),  
hasPurpose(?C,?P), LOMPurposeContextDependent(?P)  
→ ContextDependentMetadataRecord(?MR)
```

- Reglas que especifican los propósitos de clasificación aplicables a los registros de metadatos que describen objetos de aprendizaje concreción. Se relacionan con las restricciones de integridad RI60, RI63, RI73 y RI76 del capítulo 4.

```
MetadataRecord(?MR), Classification(?C), hasClassification(?MR,?C),  
hasPurpose(?C,?P), hasVocabularyValue(?P,‘‘accessibility restrictions’’)  
→ LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord(?MR)
```

```
MetadataRecord(?MR), Classification(?C), hasClassification(?MR,?C),  
hasPurpose(?C,?P), hasVocabularyValue(?P,‘‘security level’’)  
→ LOMaterializedContextDependentMetadataRecord(?MR)
```

Por otro lado, las reglas SWRL que corresponden al segundo grupo son:

- Reglas que garantizan un uso consistente de contribuciones en función de la categoría de LOM dónde éstas se agregan. Por ejemplo, la primera de estas reglas garantiza que todas las contribuciones definidas en la categoría 2. *Life Cycle* usen el vocabulario propuesto por LOM a tal efecto. Estas reglas no se relacionan con ninguna de las restricciones de integridad presentadas en el capítulo 4, dado que son consecuencia de la representación efectuada de las contribuciones en la ontología.

```
Contribute(?C), LifeCycle(?LF), hasContributeLifeCycle(?LF,?C),
hasRoleContribute(?C,?R) → LOMRoleContributeLifeCycle(?R)
```

```
Contribute(?C), MetaMetadata(?MMD), hasContributeMetaMetadata(?MMD,?C),
hasRoleContribute(?C,?R) → LOMRoleContributeMetaMetadata(?R)
```

- Regla que especifica que la categoría 3. *Meta-Metadata* asociada a cualquier registro de metadatos sólo defina una contribución con rol *creator*. Se relaciona con la restricción de integridad RI78 del capítulo 4.

```
MetadataRecord(?MR), MetaMetadata(?MMD), hasMetaMetadata(?MR,?MMD),
Contribute(?C1), Contribute(?C2), hasContributeMetaMetadata(?MMD,?C1),
hasContributeMetaMetadata(?MMD,?C2), hasRoleContribute(?C1,?R),
hasRoleContribute(?C2,?R), DifferentFrom(?C1,?C2),
LOMRoleContributeMetaMetadata(?R), hasVocabularyValue(?R,‘‘creator’’)
→ InconsistentClass(?MR)
```

En el caso de esta última regla es importante destacar que para su definición se ha recurrido al uso de una clase denominada **InconsistentClass**. Esta clase, tal y como muestra la figura 5.2, es subclase de la clase **Thing**. La clase **InconsistentClass** no incorpora propiedad alguna y la única restricción que especifica es que es disjunta con cualquiera de las clases definidas en la ontología. Esta clase debe estar vacía para que la ontología se considere correcta. En resumen, la regla especifica las condiciones suficientes que conducen a la ontología a un estado inconsistente, como consecuencia de definiciones indebidas de las contribuciones asociadas a la categoría 3. *Meta-Metadata*.

5.2. Ontología extendida de LOM

En esta sección se presenta la ontología que extiende la ontología básica discutida en la sección previa con el objetivo de representar de manera formal el marco conceptual presentado en el capítulo 4. Específicamente, la ontología incluye:

1. La organización taxonómica de las diferentes clases de objetos de aprendizaje. Las clases de objetos de aprendizaje se organizan a partir de la clase OWL `LearningObject`. Las diferentes taxonomías se basan en los criterios establecidos en el capítulo 4. A continuación se recuerdan estos criterios:
 - a) En función del nivel de abstracción de los objetos de aprendizaje, se distingue entre creaciones intelectuales y las posibles representaciones (o concreciones) disponibles de dichas creaciones. Adicionalmente, se distingue entre creaciones intelectuales originales y derivadas. Las diferentes clases de objetos de aprendizaje se organizan a partir de la clase OWL `L0ByAbstraction`.
 - b) En función de la estructuración interna y del nivel de agregación de los objetos de aprendizaje, se distingue entre objetos de aprendizaje atómicos y diferentes tipos de objetos de aprendizaje compuestos. Las diferentes clases de objetos de aprendizaje de interés se organizan a partir de las clases OWL `L0ByStructure` y `L0ByAggregationLevel`. La ontología también define las relaciones que se establecen entre ambas taxonomías.
 - c) En función de características educativas como serían, por ejemplo, el tipo de recurso bajo consideración o el tipo de interactividad. En este caso, las diferentes clases de objetos de aprendizaje se organizan a partir de las clases OWL `L0ByEducationalProperties` y `L0ByInteractivityType`.
2. Definición de relaciones no taxonómicas de interés entre los objetos de aprendizaje. Tal y como se ha discutido en el capítulo 4, estas relaciones se clasifican en diferentes grupos. Adicionalmente, las relaciones de cada grupo se organizan de manera taxonómica. En la ontología, cada relación queda representada mediante una *object property*. Para cada grupo, la ontología define la taxonomía de relaciones y sus propiedades. Asimismo, la ontología define las taxonomías de relaciones inversas. Los diferentes grupos de interés son los que se describen a continuación:

- a) Grupo 1. Relaciones que permiten expresar que un objeto de aprendizaje es el patrón fuente para otro objeto de aprendizaje que preserva parte del contenido asociado al objeto de aprendizaje fuente. En la ontología, las relaciones de este grupo se organizan a partir de la *object property* `LORelationGroup1`.
 - b) Grupo 2. Relaciones que permiten expresar posesión, ya sea por inclusión, pertenencia, agregación, composición o materialización entre los objetos de aprendizaje. Las relaciones relativas a este grupo se organizan, en la ontología, a partir de la *object property* `LORelationGroup2`.
 - c) Grupo 3. Relaciones que permiten expresar que un objeto de aprendizaje contiene algún tipo de información sobre otro objeto de aprendizaje, sin que el objeto de aprendizaje referenciado esté incluido en el objeto de aprendizaje que lo referencia. En la ontología, las relaciones de este grupo se organizan a partir de la *object property* `LORelationGroup3`.
 - d) Grupo 4. Relaciones que permiten expresar que un objeto de aprendizaje requiere o necesita a otro objeto de aprendizaje. En este caso, en la ontología, las relaciones de este grupo se organizan a partir de la *object property* `LORelationGroup4`.
3. Reglas SWRL que permiten, principalmente, clasificar los objetos de aprendizaje en las diferentes clases de interés. Esta clasificación se basa, principalmente, en la información recogida en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. Recuérdese que el concepto registro de metadatos y sus propiedades están definidos en la ontología básica presentada en la sección 5.1.

En las siguientes subsecciones se presentan de manera más detallada los elementos previamente mencionados.

5.2.1. Clases de objetos de aprendizaje y su organización taxonómica

En esta subsección se presentan las diferentes taxonomías de clases de objetos de aprendizaje representadas en la ontología, de acuerdo a los criterios anteriormente mencionados. Concretamente, para cada taxonomía, se revisan las clases más relevantes que la integran. Cada una de estas clases puede incluir diferentes condiciones que se definen

a nivel de clase. Adicionalmente, las clases pueden participar en reglas expresadas en SWRL. Las condiciones que se pueden definir a nivel de clase son las siguientes:

- Condiciones necesarias y suficientes. Estas condiciones permiten deducir las instancias que conforman la extensión de la clase que incorpora dichas condiciones. En consecuencia, las clases que incorporan estas condiciones son clases definidas.
- Condiciones necesarias. Éstas permiten expresar las condiciones que deben cumplir las instancias de la clase que las incorpora. Dado que no son condiciones suficientes, pueden existir instancias en la ontología que verifiquen dichas condiciones y que no sean instancias de la clase en cuestión.
- Condiciones heredadas de otras clases que son superclase o clase equivalente de la clase que incorpora dichas condiciones.
- Otras condiciones como sería el caso, por ejemplo, de disjunción de ciertas clases o la disjunción y completitud de las jerarquías de especialización.

En el análisis que se realiza a continuación, se presentan las condiciones previas que definen cada una de las clases que conforman las diferentes taxonomías, a excepción de las heredadas, puesto que estas condiciones son deducibles a través del examen de las jerarquías de herencia definidas. Asimismo, se presentan algunas de las reglas SWRL más significativas en las que participan cada una de las clases analizadas. Tanto en la definición de algunas clases, como en la definición de reglas SWRL, pueden intervenir relaciones no taxonómicas. Estas relaciones serán presentadas en la subsección 5.2.1.

Antes de proceder al análisis, es importante destacar que todas las clases de objetos de aprendizaje definidas son subclase de la clase `LearningObject`. En consecuencia, al menos, todas las clases de objetos de aprendizaje van a incorporar como condiciones heredadas las condiciones que se presentan a continuación:

```
isDescribedByMR exactly 1 ContextIndependentMetadataRecord
isDescribedByMR min 1 MetadataRecord
LearningObject
```

Taxonomía asociada a `LObjectAbstraction`

Esta taxonomía distingue entre diversas clases de objetos de aprendizaje, en función del nivel de abstracción de los mismos. Tal y como muestra la figura 5.6, a un

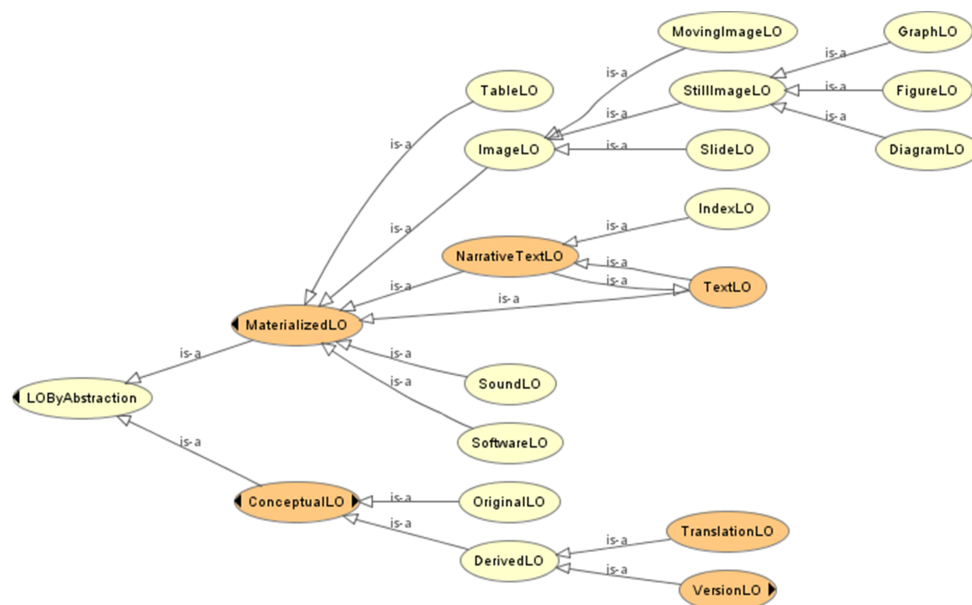


Figura 5.6: Taxonomía LOByAbstraction

primer nivel, la taxonomía distingue entre objetos de aprendizaje entendidos como creación intelectual (estos objetos de aprendizaje, representados en la ontología por la clase **ConceptualLO**, únicamente tienen existencia temporal), y los posibles objetos de aprendizaje que los materializan (estos objetos de aprendizaje son instancia de la clase **MaterializedLO** y, además de existencia temporal, también tienen existencia digital). Además la taxonomía distingue entre objetos de aprendizaje conceptuales que son originales y aquéllos que surgen como consecuencia de un proceso de derivación (como sería el caso, por ejemplo, de objetos de aprendizaje traducción o versión). Estos objetos de aprendizaje quedan representados en la ontología, respectivamente, por las clases **OriginalLO** y **DerivedLO** (que a su vez incluye las clases **TranslationLO** y **VersionLO**). Adicionalmente, la taxonomía también muestra que pueden existir diferentes clases de objetos de aprendizaje concreción, en función de cómo el usuario los percibe. Algunas de estas subclases (véase la figura 5.6) serían, por ejemplo, las clases **SoundLO** o **ImageLO** (esta última clase se especializa en nuevas subclases). Estas subclases, tal y como se ha presentado en capítulo 4, se relacionan con algunos de los tipos de objetos de aprendizaje propuestos por LOM (en concreto, con el vocabulario asociado al metadato 5.2 *Learning resource type*) y Dublin Core. A continuación se describen las clases más relevantes de la taxonomía.

- Clase **ConceptualLO**. En su definición esta clase incluye las condiciones que se indican a continuación, las cuales están relacionadas con las restricciones de integridad RI1, RI2, RI4 y RI14 del capítulo 4:
 - a) Condiciones necesarias y suficientes:

`LOByAbstraction and (isMaterializedBy min 1 MaterializedLO)`
 - b) Otras condiciones:

La clase **ConceptualLO** es disjunta con la clase **MaterializedLO**.

La clase **ConceptualLO** es la unión disjunta de **OriginalLO** y **DerivedLO**.

- Clase **MaterializedLO**. Esta clase, en su definición, incluye condiciones relacionadas con las restricciones de integridad RI1, RI4 y RI14 del capítulo 4. Específicamente, estas condiciones son:
 - a) Condiciones necesarias y suficientes:

`LOByAbstraction and (materializationOf exactly 1 ConceptualLO)`
 - b) Otras condiciones:

La clase **MaterializedLO** es disjunta con la clase **ConceptualLO**.

- Clase **OriginalLO**. En su definición, esta clase incluye las siguientes condiciones, relacionadas con la restricción de integridad RI2 del capítulo 4:
 - a) Condiciones necesarias:

`ConceptualLO`
 - b) Otras condiciones:

La clase **OriginalLO** es disjunta con la clase **DerivedLO**.

- Clase **DerivedLO**. Esta clase, en su definición, incluye condiciones que se indican a continuación. Éstas se relacionan con la restricción de integridad RI2 presentada en el capítulo 4:
 - a) Condiciones necesarias:

`ConceptualLO`
 - b) Otras condiciones:

La clase **DerivedLO** es disjunta con la clase **OriginalLO**.

- Clase **TranslationL0**. En su definición, esta clase incluye las siguientes condiciones relacionadas con las restricciones de integridad RI3, RI5 y RI16 del capítulo 4:
 - a) Condiciones necesarias y suficientes:

`DerivedL0 and (isTranslationOf exactly 1(OriginalL0 or TranslationL0))`
 - b) Otras condiciones:

La clase **TranslationL0** es disjunta con la clase **VersionL0**.

- Clase **VersionL0**. Esta clase, en su definición, incluye las condiciones que se indican a continuación. Estas condiciones, como en el caso de la clase **TranslationL0**, se relacionan con las restricciones de integridad RI3, RI5 y RI17 del capítulo 4:
 - a) Condiciones necesarias y suficientes:

`DerivedL0 and (isVersionOf exactly 1 ConceptualL0)`
 - b) Otras condiciones:

La clase **VersionL0** es disjunta con la clase **TranslationL0**.

Las clases que son subclase de la clase **MaterializedL0** (véase la figura 5.6) sirven para especializar los objetos de aprendizaje concreción en función de cómo el usuario percibe el contenido asociado a dichos objetos de aprendizaje. Las clases propuestas se basan en valores propuestos por LOM y Dublin Core para los tipos de recurso de aprendizaje (en el caso de LOM, se trata del metadato 5.2 *Learning resource type* perteneciente a la categoría 5. *Educational*). Estas clases no incorporan definiciones de interés a nivel de clase, más allá de aquéllas que se derivan de la jerarquía de herencia definida. Por lo tanto, estas clases representan la organización taxonómica de una parte de los valores propuestos en los vocabularios **LOMLearningResourceType** y **DCLearningResourceType** definidos en la ontología básica (véase la sección 5.1). Dichos valores quedan recogidos en dos nuevas clases en la ontología extendida. Concretamente éstas son las clases **LOMRepresentationLearningResourceType** y **DCRepresentationLearningResourceType** que son subclase de **LOMLearningResourceType** y **DCLearningResourceType**.

La clasificación de los objetos de aprendizaje en las clases de interés se realiza a través de diferentes reglas SWRL. Estas reglas definen las condiciones suficientes, basándose en el uso de conceptos (clases y propiedades) definidos en la ontología básica, para la pertenencia de un objeto de aprendizaje en una determinada clase. A modo de

ejemplo, a continuación se muestra la regla para clase `DiagramLO`, que está relacionada con la restricción de integridad RI55 del capítulo 4. Nótese que, adicionalmente, los objetos de aprendizaje que son instancia de la clase `DiagramLO`, también serán instancia, entre otras, de las clases `StillImageLO` e `ImageLO` (véase la figura 5.6).

```
LearningObject(?LO),MetadataRecord(?MR),
describesLO(?MR,?LO),EducationalContextIndependent(?E),
hasEducationalContextIndependent(?MR,?E),hasLearningResourceType(?E,?T),
LOMRepresentationLearningResourceType(?T),
hasVocabularyValue(?T,'diagram') → DiagramLO(?LO)
```

Para finalizar, destacar que la creación de las clases `ConceptualLO` y `MaterializedLO` causa que las clases `LOConceptualContextDependentMetadataRecord`, `LOConceptualContextIndependentMetadataRecord`, `LOMaterializedContextDependentMetadataRecord` y `LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord` de la ontología básica añadan nuevas condiciones en su definición, tal y como se muestra a continuación:

- Las clases `LOConceptualContextDependentMetadataRecord` y `LOConceptualContextIndependentMetadataRecord` añaden la siguiente condición necesaria, relacionada con la restricción de integridad RI69 del capítulo 4:

```
describesLO exactly 1 ConceptualLO
```

- Las clases `LOMaterializedContextDependentMetadataRecord` y `LOMaterializedContextIndependentMetadataRecord` añaden la siguiente condición necesaria. Ésta se relaciona con la restricción de integridad RI70 del capítulo 4:

```
describesLO exactly 1 MaterializedLO
```

Taxonomías asociadas a `LOByStructure` y `LOByAggregationLevel`

Estas taxonomías permiten especializar los objetos de aprendizaje en función de su estructura organizativa interna (las clases de objetos de aprendizaje se organizan a partir de la clase `LOByStructure`) y en función de su nivel de granularidad funcional (en este caso las diferentes clases de objetos de aprendizaje se organizan a partir de clase `LOByAggregationLevel`).

Las taxonomías se presentan de manera gráfica en la figura 5.7. Asimismo la ontología define las relaciones que existen entre ambas taxonomías. Éstas se relacionan con

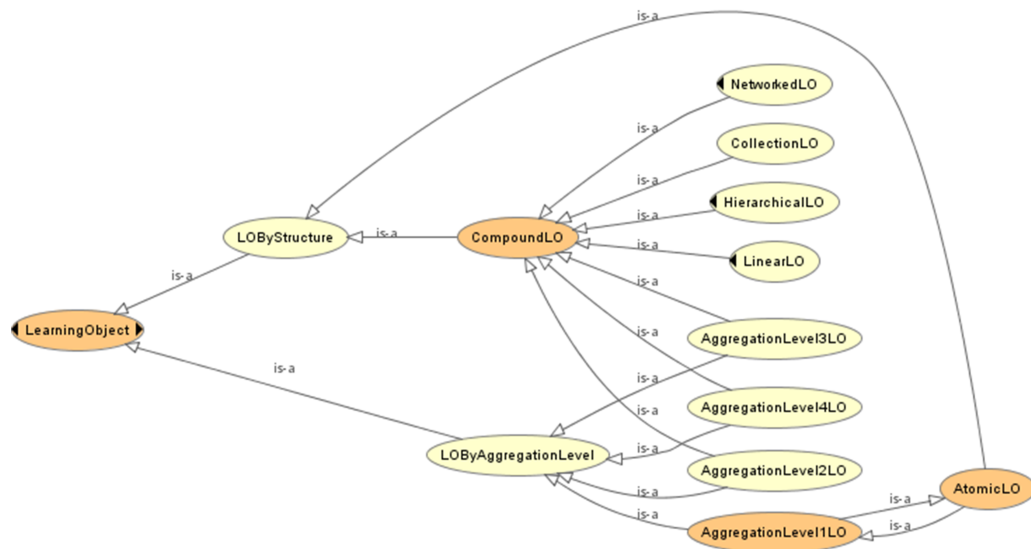


Figura 5.7: Taxonomías LOMByStructure y LOMByAggregationLevel

los metadatos 1.7 *Structure* y 1.8 *Aggregation level* propuestos por LOM en la categoría 1. *General*.

A continuación se presentan las clases que integran ambas taxonomías:

- Clase **AtomicLO**. En su definición, esta clase incluye las condiciones que se indican a continuación. Estas condiciones se relacionan con las restricciones de integridad RI6, RI34 y RI41 del capítulo 4:
 - a) Condiciones necesarias y suficientes: en este caso existen dos posibles alternativas (o grupos de condiciones necesarias y suficientes) para definir la clase **AtomicLO**. Cada una de estas alternativas conduce a un mismo resultado, es decir, a una misma extensión (o conjunto de objetos de aprendizaje) para la clase **AtomicLO**:


```

AggregationLevel1LO
LOByStructure and (not (hasPart some LearningObject))
          
```
 - b) Otras condiciones:

La clase **AtomicLO** es disjunta con la clase **CompoundLO**.
- Clase **CompoundLO**. En su definición, esta clase incluye las condiciones que se indican a continuación, las cuales se relacionan con las restricciones de integridad RI6, RI35, RI42, RI43 y RI44 del capítulo 4:

- a) Condiciones necesarias y suficientes:
`L0ByStructure and (hasPart min 2 LearningObject)`
 - b) Condiciones necesarias:
`AggregationLevel2L0 or AggregationLevel3L0 or AggregationLevel4L0`
 - c) Otras condiciones:
 La clase `CompoundL0` es disjunta con la clase `AtomicL0`.
- Clases `CollectionL0`, `NetworkedL0`, `HierarchicalL0` y `LinearL0`. En su definición, estas clases comparten las siguientes condiciones (relacionadas con la restricción de integridad RI7 del capítulo 4):
 - a) Condiciones necesarias:
`CompoundL0`
 - b) Otras condiciones:
 La clases `CollectionL0`, `NetworkedL0`, `HierarchicalL0` y `LinearL0` son disjuntas entre sí.
 - Clase `AggregationLevel1L0`. En su definición, esta clase incluye las siguientes condiciones (relacionadas con la restricción de integridad RI41 del capítulo 4):
 - a) Condiciones necesarias y suficientes:
`AtomicL0`
 - b) Condiciones necesarias:
`L0ByAggregationLevel`
 - c) Otras condiciones:
 La clase `AggregationLevel1L0` es disjunta con `AggregationLevel2L0`, `AggregationLevel3L0` y `AggregationLevel4L0`.
 - Clase `AggregationLevel2L0`. En su definición, esta clase incluye las condiciones, relacionadas con la restricción RI42 del capítulo 4, que se indican a continuación:
 - a) Condiciones necesarias y suficientes:
`CompoundL0 and L0ByAggregationLevel
 and (hasPart only AggregationLevel1L0)`

b) Otras condiciones:

La clase `AggregationLevel2L0` es disjunta con `AggregationLevel1L0`, `AggregationLevel3L0` y `AggregationLevel4L0`.

- Clase `AggregationLevel3L0`. En su definición, esta clase incluye las siguientes condiciones (relacionadas con la restricción de integridad RI43 del capítulo 4):

a) Condiciones necesarias y suficientes:

```
CompoundL0 and L0ByAggregationLevel
and ((not((hasPart some AggregationLevel3L0)
or (hasPart some AggregationLevel4L0)))
and (hasPart some AggregationLevel2L0))
```

b) Otras condiciones:

La clase `AggregationLevel3L0` es disjunta con `AggregationLevel1L0`, `AggregationLevel2L0` y `AggregationLevel4L0`.

- Clase `AggregationLevel4L0`. En su definición, esta clase incluye las condiciones que se indican a continuación. Estas condiciones se relacionan con la restricción de integridad RI44 incluida en el capítulo 4:

a) Condiciones necesarias y suficientes:

```
CompoundL0 and L0ByAggregationLevel
and (hasPart some (AggregationLevel3L0 or AggregationLevel4L0))
```

b) Otras condiciones:

La clase `AggregationLevel4L0` es disjunta con `AggregationLevel1L0`, `AggregationLevel2L0` y `AggregationLevel3L0`.

A partir de las definiciones previamente presentadas, es posible concluir que las taxonomías son extensionalmente equivalentes, es decir, los conjuntos de objetos de aprendizaje que pertenecen a las clases `L0ByStructure` y `L0ByAggregationLevel` son idénticos. Esta misma conclusión es alcanzada por el razonador, tal y como muestra la figura 5.8, donde se muestra el modelo inferido para las taxonomías `L0ByStructure` y `L0ByAggregationLevel`. Lo que muestran las taxonomías son dos clasificaciones de unos mismos objetos de aprendizaje de acuerdo a dos criterios semánticamente diferentes, aunque relacionados entre sí.

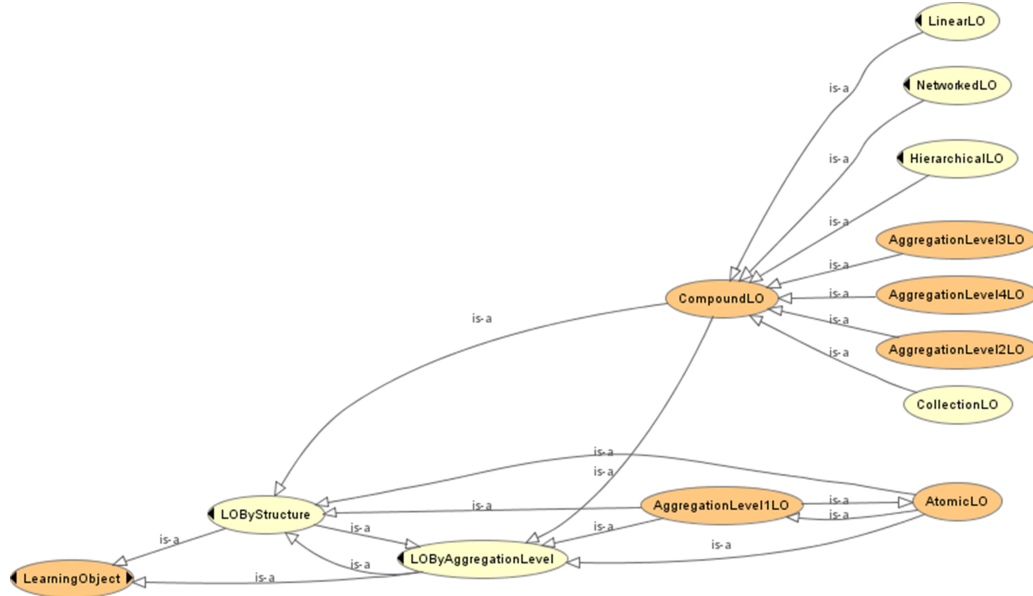


Figura 5.8: Modelo inferido taxonomías LOByStructure y LOByAggregationLevel

Para acabar, la ontología también define diversas reglas SWRL que sirven para expresar las condiciones suficientes que deben cumplir los objetos de aprendizaje para pertenecer a las clases anteriormente descritas, a partir del examen de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. A continuación se muestran dos reglas SWRL de ejemplo. La primera permite deducir que los objetos de aprendizaje con estructura lineal (esta información queda recogida mediante la propiedad `hasStructure` de la clase `General`) son instancia de la clase `LinearLO`. De manera similar, la segunda regla permite inferir instancias de la clase `LOAggregationLevel2` a partir del examen del valor definido para la propiedad `hasAggregationLevel` de la clase `General`. Tanto la clase `General`, como sus propiedades `hasStructure` y `hasAggregationLevel`, han sido definidas en la ontología básica.

```
LearningObject(?LO), MetadataRecord(?MR), describesLO(?MR,?LO),
General(?G), hasGeneral(?MR,?G), hasStructure(?G,?S),
LOMStructure(?S), hasVocabularyValue(?S,'linear')
→ LinearLO(?LO)
```

```
LearningObject(?LO), MetadataRecord(?MR), describesLO(?MR,?LO),
General(?G), hasGeneral(?MR,?G), hasAggregationLevel(?G,?A),
LOMAggregationLevel(?A), hasVocabularyValue(?A,'2')
→ LOAggregationLevel2(?LO)
```

Taxonomías asociadas a `LOByEducationalProperties` y `LOByInteractivityType`

Estas taxonomías permiten agrupar los objetos de aprendizaje en diversas clases de acuerdo a criterios pedagógicos, como sería el tipo de recurso de aprendizaje bajo consideración y el tipo de interactividad que éste tiene asociado. Estos criterios se relacionan, respectivamente, con los metadatos 5.2 *Learning resource type* y 5.1 *Interactivity type* propuestos por LOM en la categoría 5. *Educational*. La figura 5.9 muestra estas clases, y las relaciones que entre ellas se establecen. Ambas taxonomías han sido discutidas en el capítulo 4. Básicamente, las taxonomías permiten establecer las relaciones de herencia que existen entre un conjunto de valores (o vocabularios) sobre los que no se han definido tales relaciones. Adicionalmente, en el caso de los tipos de recurso de aprendizaje, a los valores inicialmente propuestos por LOM, se han añadido tipos de recursos de aprendizaje propuestos por Dublin Core, así como nuevos tipos de recursos de aprendizaje extraídos de OpenCyc.

Las clases de la taxonomía asociada a la clase `LOByEducationalProperties`, no incorporan definiciones de interés a nivel de clase, más allá de aquéllas que se derivan de la jerarquía de herencia definida y algunas relaciones de equivalencia entre clases. Este sería el caso, tal y como muestra la figura 5.9, de las clases `QuestionnaireLO` y `AcademicTestLO` y de las clases `ExerciseLO` y `QuestionLO` que se relacionan, respectivamente, con valores propuestos para los vocabularios de LOM y OpenCyc. La ontología define que los objetos de aprendizaje que pertenecen a clase `QuestionnaireLO` también pertenecen a la clase `AcademicTestLO`, y a la inversa. De manera análoga, las clases `ExerciseLO` y `QuestionLO` contienen siempre el mismo conjunto de objetos de aprendizaje. Adicionalmente, por un lado, las clases `QuestionnaireLO` y `AcademicTestLO`, y por otro, las clases `ExerciseLO` y `QuestionLO` son semánticamente equivalentes entre sí (representan el mismo concepto del mundo real), pero esto no se ha expresado formalmente en la ontología (el motivo por el cual no se ha realizado esta definición será tratado en la sección 5.4). En el caso de la taxonomía `LOByInteractivityType`, es importante destacar que sus subclases son disjuntas. Además, la clase `LOByInteractivityType` se construye como la unión de sus subclases. Estas condiciones, de acuerdo a lo presentado en el capítulo 4, se corresponden con la restricción de integridad RI18.

Las clases propuestas también participan en diferentes reglas SWRL. Algunas de estas reglas permiten la clasificación de los objetos de aprendizaje en las clases de interés, a partir de conceptos (clases y propiedades) definidos en la ontología básica (véase la

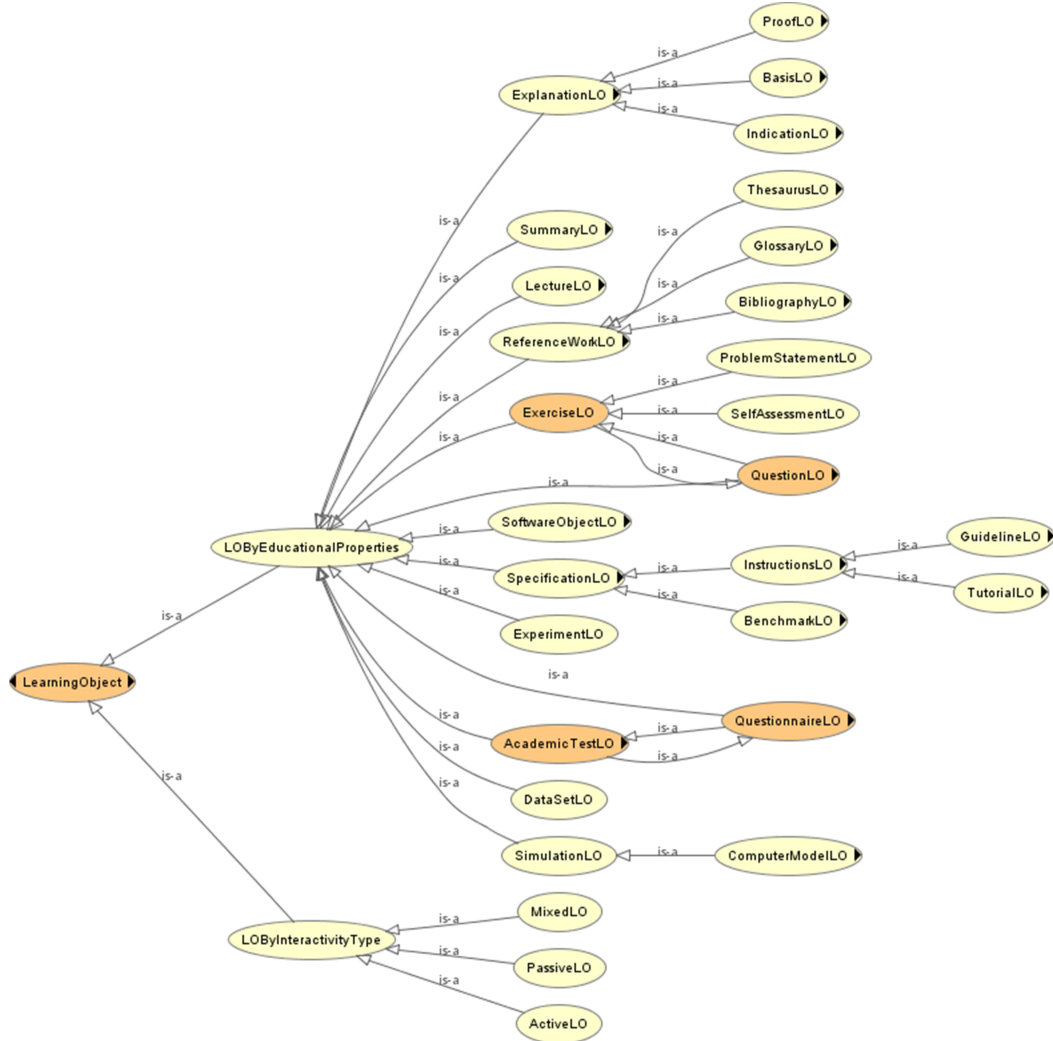


Figura 5.9: Taxonomías LOByEducationalProperties y LOByInteractivityType

sección 5.1). En el caso de la taxonomía asociada a la clase LOByEducationalProperties, y a modo de ejemplo, a continuación se muestra la regla SWRL que define las condiciones suficientes para que un objeto de aprendizaje sea instancia de la clase **ProblemStatementLO**. Este objeto de aprendizaje (véase la figura 5.9) también será instancia de la clase **ExerciseLO** dado que esta clase es superclase **ProblemStatementLO**. Adicionalmente, dado que la clase **ExerciseLO** es equivalente a la clase **QuestionLO**, se infiere que el objeto de aprendizaje también será instancia de la clase **QuestionLO**.

```

LearningObject(?LO),MetadataRecord(?MR),describesLO(?MR,?LO),
EducationalContextIndependent(?E),
hasEducationalContextIndependent(?MR,?E),

```

```

hasLearningResourceType(?E,?T),LOMActiveLearningResourceType(?T),
hasVocabularyValue(?T,‘‘problem statement’’) → ProblemStatementLO(?LO)

```

Por otro lado, también existen reglas SWRL que permiten detectar posibles inconsistencias en la clasificación de los objetos de aprendizaje en las taxonomías asociadas a las `LOByEducationalProperties` y `LOByInteractivityType`. Este aspecto tiene que ver con las relaciones que se establecen entre los metadatos 5.2 *Learning resource type* y 5.1 *Interactivity type* de la categoría 5. *Educational*. Estas relaciones, así como las restricciones de integridad que imponen, han sido tratadas en el capítulo 4. A continuación se muestran un par de reglas de ejemplo relacionadas con las restricciones de integridad RI9 y RI10.

```

ActiveLO(?LO),MetadataRecord(?MR),describesLO(?MR,?LO),
EducationalContextIndependent(?E),
hasEducationalContextIndependent(?MR,?E),
hasLearningResourceType(?E,?T),LOMPassiveLearningResourceType(?T)
→ InconsistentClass(?MR)

```

```

PassiveLO(?LO), MetadataRecord(?MR), describesLO(?MR,?LO),
EducationalContextIndependent(?E),
hasEducationalContextIndependent(?MR,?E),
hasLearningResourceType(?E,?T), LOMActiveLearningResourceType(?T)
→ InconsistentClass(?MR)

```

La primera de las reglas impide que los objetos de aprendizaje activos (estos objetos de aprendizaje son instancia de la clase `ActiveLO`) puedan tener asociados valores que se correspondan con tipos de recursos de aprendizaje de naturaleza pasiva (estos valores están representados en la clase `LOMPassiveLearningResourceType`). De manera similar, la segunda regla garantiza que los objetos pasivos (estos objetos de aprendizaje son instancia de la clase `PassiveLO`) no incorporan tipos de recurso de aprendizaje de naturaleza activa (representados en la clase `LOMActiveLearningResourceType`). Las clases `LOMPassiveLearningResourceType` y `LOMActiveLearningResourceType` son subclase de la clase `LOMLearningResourceType` definida en la ontología básica, y tienen como objetivo facilitar la definición de las reglas SWRL. Para finalizar, destacar que la ontología también incorpora reglas SWRL similares a las previamente presentadas para los vocabularios de Dublin Core y OpenCyc.

5.2.2. Relaciones no taxonómicas entre los objetos de aprendizaje

Tal y como se ha comentado al inicio de esta sección, la ontología extendida representa los diferentes grupos de relaciones no taxonómicas de interés entre los objetos de aprendizaje que se han determinado en capítulo 4, así como su organización taxonómica. Además, para cada grupo de relaciones, no se define únicamente su taxonomía, sino también su taxonomía de relaciones inversas.

Cada relación queda representada en la ontología mediante una *object property*. Adicionalmente, para cada relación se especifican, en caso de ser aplicable, los elementos que se detallan a continuación:

- Dominio y rango de la relación, es decir, las clases de objetos de aprendizaje que pueden participar en la relación.
- Posibles relaciones equivalentes (desde un punto de vista extensional).
- Relación inversa a la relación que está siendo definida.
- Relaciones que son supertipo directo de la relación que está siendo definida.
- Relaciones que son subtipo directo de la relación que está siendo definida.
- Si la relación que está siendo definida es disjunta con otras relaciones.
- Propiedades que, desde un punto de vista matemático, verifica la relación. Por ejemplo, su reflexividad, simetría, transitividad, si es una relación funcional etc.

Cada grupo de relaciones se organiza a partir de una propiedad genérica. Éstas son: `LORelationGroup1`, `LORelationGroup2`, `LORelationGroup3` y `LORelationGroup4`.

A continuación se describe en detalle la taxonomía de relaciones correspondiente al grupo 1. Recuérdese que este grupo contiene relaciones que permiten expresar que un objeto de aprendizaje es el patrón fuente para otro objeto de aprendizaje que preserva parte del contenido asociado al objeto de aprendizaje fuente. En consecuencia, estas relaciones son relevantes, al menos, para la representación de objetos de aprendizaje derivados. Tal y como muestra la figura 5.10, la relación `LORelationGroup1` es la relación genérica a partir de la cual se organizan todas las relaciones que pertenecen al

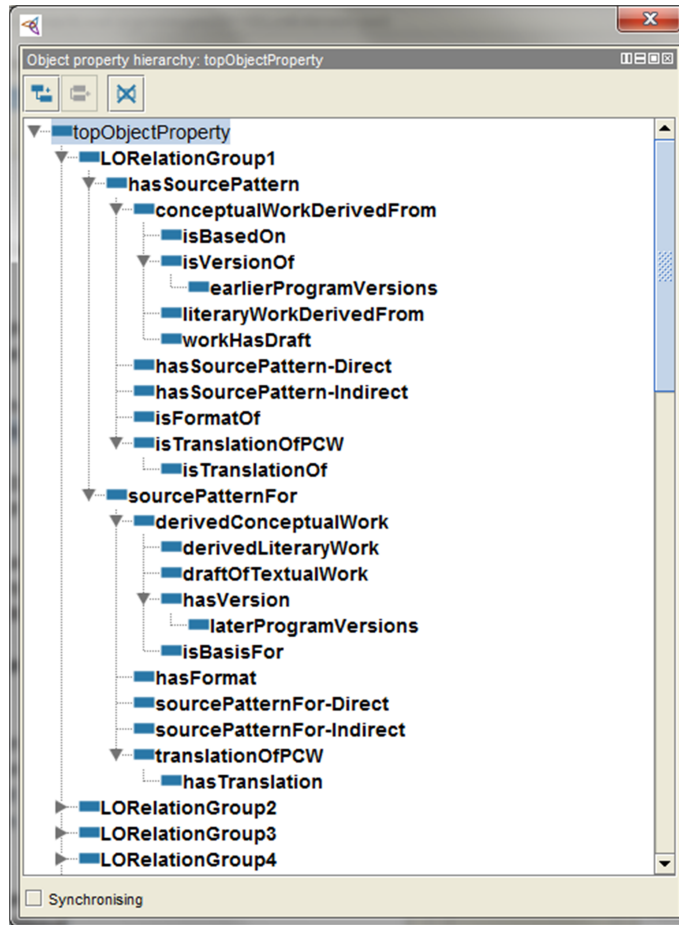


Figura 5.10: Taxonomías de relaciones grupo 1 en Protégé

grupo 1. Todas las relaciones definidas en este grupo, así como sus inversas, son sub-tipo de esta relación. A partir de ésta, se organizan dos taxonomías de relaciones. La primera se organiza a partir de la relación `sourcePatternFor`, mientras que la segunda se organiza a partir de su relación inversa `hasSourcePattern`. Las características que definen las relaciones de este grupo se resumen en las tablas 5.29 y 5.30. Los objetos de aprendizaje participantes en cada relación, están regulados por las restricciones RI12 y RI13 presentadas en el capítulo 4, mientras que la definición de relaciones inversas se relaciona con la restricción de integridad RI30.

Las relaciones también participan en diversas reglas SWRL. A continuación se muestra como, a partir de los registros de metadatos, es posible inferir relaciones del grupo 1 entre dos objetos de aprendizaje. En concreto, las reglas SWRL que se muestran de ejemplo, se refieren a la relación `isTranslationOf` y su relación inversa `hasTranslation`.

| Relación | Dominio | Rango | Relación inversa |
|---------------------------|--------------------------|----------------|---------------------------|
| sourcePatternFor | LearningObject | LearningObject | hasSourcePattern |
| derivedConceptualWork | ConceptualLO | ConceptualLO | conceptualWorkDerivedFrom |
| derivedLitteraryWork | ConceptualLO | ConceptualLO | literaryWorkDerivedFrom |
| hasVersion | ConceptualLO | ConceptualLO | isVersionOf |
| laterProgramVersions | ConceptualLO | VersionLO | earlierProgramVersions |
| isBasisFor | ConceptualLO | OriginalLO | isBasedOn |
| hasFormat | MaterializedLO | MaterializedLO | isFormatOf |
| sourcePatternFor-Direct | LearningObject | LearningObject | hasSourcePattern-Direct |
| sourcePatternFor-Indirect | LearningObject | LearningObject | hasSourcePattern-Indirect |
| hasTranslation | OriginalLO/TranslationLO | TranslationLO | isTranslationOf |

Tabla 5.29: Características de las relaciones del grupo 1

| Relación | Propiedades | Otras restricciones |
|---------------------------|------------------------|--|
| sourcePatternFor | Asimétrica | |
| derivedConceptualWork | Asimétrica | |
| derivedLitteraryWork | Asimétrica | |
| hasVersion | Asimétrica, transitiva | |
| laterProgramVersions | Asimétrica, transitiva | |
| isBasisFor | Asimétrica | |
| hasFormat | Asimétrica, transitiva | |
| sourcePatternFor-Direct | Asimétrica | Disjunta con sourcePatternFor-Indirect |
| sourcePatternFor-Indirect | Asimétrica, transitiva | Disjunta con sourcePatternFor-Direct |
| hasTranslation | Asimétrica | Su relación inversa es funcional. |

Tabla 5.30: Características de las relaciones del grupo 1 (continuación)

Es importante destacar que, una vez se infiere una de las dos relaciones, la ontología también infiere la inversa, gracias a las definiciones realizadas para cada una de las relaciones en la ontología (véase la tabla 5.29). Una vez inferidas dichas relaciones, se determinará que los participantes en la relación pertenecen a la clase **ConceptualLO**. Además, también se inferirá uno de los dos participantes (LO en el caso de la primera regla y LO2 en el caso de la segunda) es instancia de la clase **TranslationLO**, de acuerdo a lo presentado en la subsección 5.2.1.

```

LearningObject(?LO),MetadataRecord(?MR),describesLO(?MR,?LO),
Relation(?R),hasRelation(?MR,?R),hasKind(?R,?K),
ExtendedLOMRRelationKind(?K),
hasVocabularyValue(?K,'is translation of'),Resource(?RES),
hasResource(?R,?RES),hasRelatedLOIdentifier(?RES,?LOID_RES),
LearningObject(?LO2),MetadataRecord(?MR2),describesLO(?MR2,?LO2),
General(?G2),hasGeneral(?MR2,?G2),hasLOIdentifier(?G2,?LOID_RES)
→ isTranslationOf(?LO,?LO2)

```



```

LearningObject(?L0),MetadataRecord(?MR),describesLO(?MR,?L0),
Relation(?R),hasRelation(?MR,?R),hasKind(?R,?K),
ExtendedLOMRRelationKind(?K),
hasVocabularyValue(?K,'has translation'),Resource(?RES),
hasResource(?R,?RES),hasRelatedLOIdentifier(?RES,?LOID_RES),
LearningObject(?L02),MetadataRecord(?MR2),describesLO(?MR2,?L02),
General(?G2),hasGeneral(?MR2,?G2),hasLOIdentifier(?G2,?LOID_RES)
→ hasTranslation(?L0,?L02)

```

Para finalizar, las reglas SWRL que se muestran a continuación, especifican las relaciones que se transfieren entre objetos de aprendizaje que definen relaciones **hasTranslation** y **hasFormat**. Las dos primeras reglas, las cuales se relacionan con la restricción de integridad RI18 definida en el capítulo 4, establecen que las relaciones de tipo **references** y **requires** definidas en el objeto de aprendizaje que tiene asociado un objeto de aprendizaje traducción, también se aplican al objeto de aprendizaje traducción. Por su parte, la última regla SWRL establece que un objeto de aprendizaje (en este caso, concreción) obtenido a partir de otro objeto de aprendizaje (también concreción) a través de algún mecanismo de reproducción o tecnología de reformato (estos objetos de aprendizaje concreción están relacionados a través de la relación **hasFormat**), pasa a ser una nueva materialización del objeto de aprendizaje conceptual con el que se relaciona el primer participante en la relación **hasFormat**. Además, el nuevo objeto de concreción, será instancia de la clase **MaterializedLO** (véase la subsección 5.2.1). Esta regla SWRL se relaciona con la restricción de integridad RI15.

```

hasTranslation(?L01,?L02),references(?L01,?L03)
→ references(?L02,?L03)

```

```

hasTranslation(?L01,?L02),requires(?L01,?L03)
→ requires(?L02,?L03)

```

```

hasFormat(?L01,?L02),materializationOf(?L01,?L03)
→ materializationOf(?L02,?L03)

```

5.3. Alineación con OpenCyc

La ontología extendida presentada en la sección anterior también establece las correspondencias con conceptos (clases y propiedades) relacionados en OpenCyc. En concreto, se establecen dos tipos de correspondencias:

- Subsunción, es decir, se establece que un concepto de la ontología extendida es subtipo o supertipo de un concepto definido en OpenCyc.
- Equivalencia semántica, es decir, se establece que un concepto de la ontología extendida es idéntico a un concepto incluido en OpenCyc.

A continuación se describen con más detalle las correspondencias realizadas.

5.3.1. Correspondencias a nivel de clases de objetos de aprendizaje

Tal y como se ha presentado en la subsección 5.2.1, la ontología extendida incorpora diferentes taxonomías de clases de objetos de aprendizaje. Algunas de las clases propuestas en dichas taxonomías, encuentran correspondencia con las clases definidas en OpenCyc. Estas clases de objetos de aprendizaje pertenecen a las taxonomías organizadas a partir de las clases `LOByAbstraction`, `LOByStructure` y `LOByEducationalProperties`. Por su parte, las clases de interés de OpenCyc se organizan a partir de la clase `OpenCycClasses`. Es importante destacar que la ontología extendida no realiza definiciones adicionales sobre las clases extraídas de OpenCyc, dado que tales definiciones ya están incluidas en OpenCyc.

Las clases de objetos de aprendizaje asociadas a las taxonomías `LOByAbstraction` y `LOByStructure` que encuentran correspondencia con clases de OpenCyc se muestran en la tabla 5.31. Esta tabla, además, también describe la correspondencia que se establece en cada caso. Para definir la relación que se establece entre la clase `VersionLO` y la clase `VersionedSoftwareObject` de OpenCyc, ha sido necesario crear la clase `VersionedSoftwareObjectLO`. Esta última clase recoge aquellos objetos de aprendizaje conceptuales versión que además son de naturaleza software. Por su parte, la tabla 5.32 muestra las URI asociadas a cada una de las clases de OpenCyc de interés.

| Clase ontología extendida | Clase OpenCyc | Descripción de la correspondencia |
|--|-------------------------|--|
| ConceptualLO | ConceptualWork | La clase ConceptualLO es subclase de la clase ConceptualWork. |
| MaterializedLO | InformationBearingThing | La clase MaterializedLO es subclase de la clase InformationBearingThing. |
| VersionedSoftwareLO | VersionedSoftwareObject | VersionedSoftwareLO es subclase de la clase VersionedSoftwareObject. |
| NetworkedLO, HierarchicallLO, LinearLO | RelationalStructure | Las clases NetworkedLO, HierarchicallLO y LinearLO son subclase de la clase RelationalStructure. |

Tabla 5.31: Correspondencias de las taxonomías LOByAbstraction y LOByStructure con OpenCyc

| Clase OpenCyc | URI |
|-------------------------|---|
| ConceptualWork | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/ConceptualWork |
| InformationBearingThing | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/InformationBearingThing |
| VersionedSoftwareObject | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/VersionedSoftwareObject |
| RelationalStructure | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/RelationalStructure |

Tabla 5.32: Correspondencias de las taxonomías LOByAbstraction y LOByStructure con OpenCyc (continuación)

En el caso de las clases de objetos de aprendizaje organizadas a partir de la clase LOByEducationalProperties, el proceso de alineación ha sido más laborioso. Tal y como se ha presentando en el capítulo 4, esto es debido a que, en OpenCyc, todas las clases de interés comparten el hecho de ser subclases de la clase ConceptualWork, mientras que en la ontología extendida sus clases relacionadas incluyen tanto objetos de aprendizaje conceptuales, como sus objetos de aprendizaje concreción. Sin pérdida de generalidad, para la descripción del proceso de alineación, se toma como ejemplo la clase ReferenceWorkLO y sus subclases (estas clases se muestran en la figura 5.9 de la subsección 5.2.1). Dicho proceso queda tal y como se describe a continuación:

1. Definición de nuevas subclases. Entre las nuevas se incluyen, por un lado, clases extraídas de OpenCyc, y por otro, clases que en la ontología extendida recogen aquellos objetos de aprendizaje de un determinado tipo que además son objetos de aprendizaje conceptuales. La figura 5.11 muestra el resultado de este primer paso sobre las clases de ejemplo. Las clases extraídas de OpenCyc son subclase de la clase general OpenCycClasses. Dichas clases son ReferenceWork, Bibliography, Glossary y Thesaurus. Por su parte, ConceptualReferenceWorkLO,

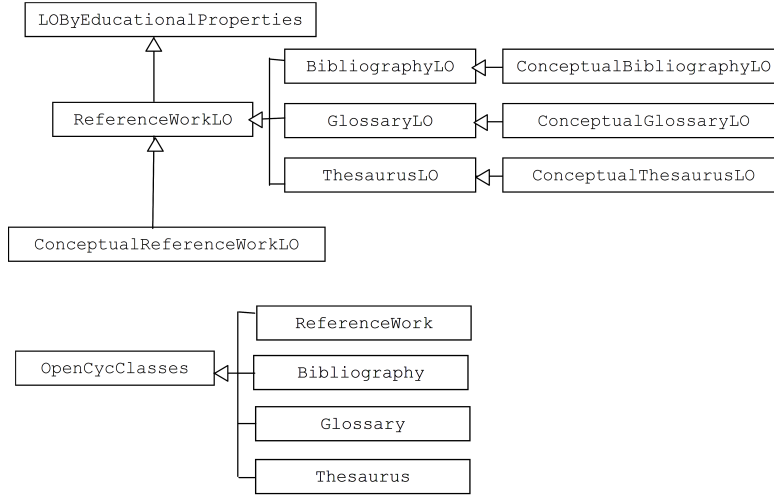


Figura 5.11: Alineación taxonomía LOByEducationalProperties con OpenCyc. Paso 1

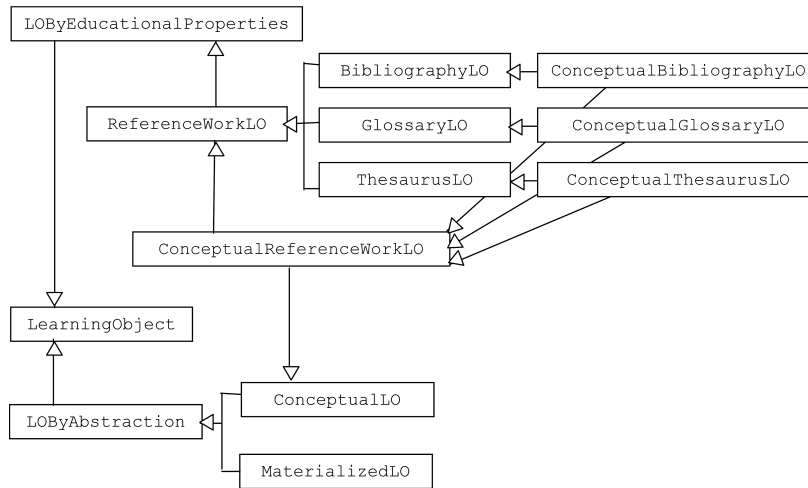


Figura 5.12: Alineación taxonomía LOByEducationalProperties con OpenCyc. Paso 2

ConceptualBibliographyLO, ConceptualGlossaryLO y ConceptualThesaurusLO son subclase de ReferenceWorkLO, BibliographyLO, GlossaryLO y ThesarusLO.

2. Refinamiento de las jerarquías de herencia. Entre las clases de objetos de aprendizaje añadidas se establecen relaciones de herencia adicionales que deben ser añadidas a la ontología extendida. Sobre el ejemplo, es necesario añadir que las subclases ConceptualBibliographyLO, ConceptualGlossaryLO y ConceptualThesaurusLO son subclases de la clase ConceptualReferenceWorkLO. Adicionalmente, también se define que la clase ConceptualReferenceWorkLO es subclase de la clase ConceptualLO, tal y como muestra la figura 5.12.

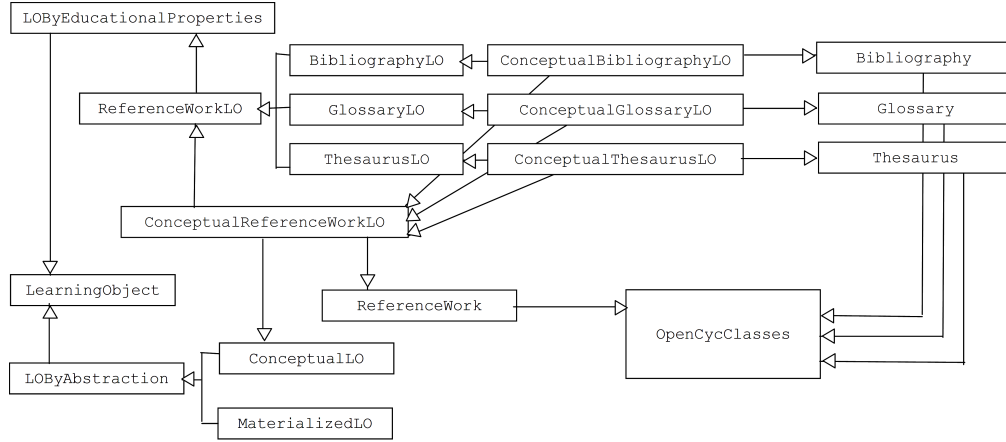


Figura 5.13: Alineación taxonomía L0ByEducationalProperties con OpenCyc. Paso 3

3. Definición de las correspondencias entre las clases de objetos de aprendizaje añadidas y las extraídas de OpenCyc. De nuevo, se trata de correspondencias de subsunción. Sobre el ejemplo, se define que las clases **ConceptualReferenceWorkLO**, **ConceptualBibliographyLO**, **ConceptualGlossaryLO** y **ConceptualThesaurusLO** son, respectivamente, subclases de las de OpenCyc **ReferenceWork**, **Bibliography**, **Glossary** y **Thesaurus**. El resultado de este paso se muestra en la figura 5.13.

4. Definición de reglas SWRL que especifican las condiciones suficientes para que un objeto de aprendizaje sea instancia de las clases añadidas. Sobre el ejemplo tomado como base, estas reglas serían las que se indican a continuación:

`ReferenceWorkLO(?LO), ConceptualLO(?LO) → ConceptualReferenceWorkLO(?LO)`

`BibliographyLO(?LO), ConceptualLO(?LO) → ConceptualBibliographyLO(?LO)`

`GlossaryLO(?LO), ConceptualLO(?LO) → ConceptualGlossaryLO(?LO)`

`ThesaurusLO(?LO), ConceptualLO(?LO) → ConceptualThesaurusLO(?LO)`

Para finalizar, las tablas 5.33 y 5.34 resumen el proceso de alineación descrito en el caso del ejemplo. Mientras que la tabla 5.33 incluye las correspondencias de subsunción establecidas, la tabla 5.34 muestra las URI de las clases extraídas de OpenCyc.

| Clase ontología extendida | Clase de OpenCyc |
|---------------------------|------------------|
| ConceptualReferenceWorkL0 | ReferenceWork |
| ConceptualBibliographyL0 | Bibliography |
| ConceptualGlossaryL0 | Glossary |
| ConceptualThesaurusL0 | Thesaurus |

Tabla 5.33: Correspondencias de la taxonomía ReferenceWorkL0 con OpenCyc

| Clase OpenCyc | URI |
|---------------|---|
| ReferenceWork | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/ReferenceWork |
| Bibliography | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/Bibliography |
| Glossary | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/Glossary |
| Thesaurus | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/Thesaurus |

Tabla 5.34: Correspondencias de la taxonomía ReferenceWorkL0 con OpenCyc (continuación)

5.3.2. Correspondencias a nivel de relaciones no taxonómicas entre objetos de aprendizaje

Tal y como se ha presentado en la subsección 5.2.2, la ontología extendida permite definir diversos tipos de relaciones no taxonómicas entre los objetos de aprendizaje. Estas relaciones se han organizado de manera taxonómica en diferentes grupos. Para cada relación, además, se ha definido su relación inversa. Las relaciones inversas de cada grupo también se han organizado de forma taxonómica. Las taxonomías de relaciones incluyen, además de las relaciones propuestas por LOM en la categoría 7. *Relation*, otras relaciones de interés que se corresponden con relaciones de OpenCyc.

A continuación se describe el proceso de alineación para la taxonomía de relaciones correspondiente al grupo 1, el cual se resume en las tablas 5.35 y 5.36. Dicho proceso sería análogo para las taxonomías de relaciones pertenecientes al resto de grupos. Tal y como muestra la tabla 5.35 entre las relaciones de LOM (relaciones **hasVersion**, **isBasisFor** y **hasFormat**) y las relaciones de OpenCyc se definen correspondencias de subsunción. Éste es también el caso de la relación **hasTranslation** que es subtipo de la relación de OpenCyc **translationOfPCW**. El resto de relaciones añadidas a la ontología son semánticamente equivalentes a relaciones definidas en OpenCyc, si bien en la ontología extendida se realiza una redefinición de los participantes (dominio y rango) en la relación. Dicha redefinición –para una discusión más detallada al respecto véase Olivé (2007)– no causa que dichas relaciones sean subtipo de las de OpenCyc aunque, evidentemente, dichos participantes deben ser compatibles (de acuerdo a lo presentado

| Relación ontología extendida | Relación en OpenCyc | Tipo de correspondencia |
|------------------------------|---------------------------|--|
| sourcePatternFor | sourcePatternFor | Equivalencia |
| derivedConceptualWork | derivedConceptualWork | Equivalencia |
| derivedLitteraryWork | derivedLitteraryWork | Equivalencia |
| hasVersion | derivedConceptualWork | hasVersion es subtipo de derivedConceptualWork y super-tipo de laterProgramVersions. |
| laterProgramVersions | laterProgramVersions | Equivalencia |
| isBasisFor | derivedConceptualWork | isBasisFor es subtipo de derivedConceptualWork. |
| hasFormat | sourcePatternFor | hasFormat es subtipo de sourcePatternFor. |
| sourcePatternFor-Direct | sourcePatternFor-Direct | Equivalencia |
| sourcePatternFor-Indirect | sourcePatternFor-Indirect | Equivalencia |
| translationOfPCW | translationOfPCW | Equivalencia |
| hasTranslation | translationOfPCW | hasTranslation es subtipo de translationOfPCW. |

Tabla 5.35: Correspondencias de la taxonomía de relaciones del grupo 1 con OpenCyc

| Relación OpenCyc | URI |
|---------------------------|---|
| sourcePatternFor | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/sourcePatternFor |
| derivedConceptualWork | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/derivedConceptualWork |
| derivedLitteraryWork | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/derivedLiteraryWork |
| laterProgramVersions | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/laterProgramVersions |
| sourcePatternFor-Direct | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/sourcePatternFor-Direct |
| sourcePatternFor-Indirect | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/sourcePatternFor-Indirect |
| translationOfPCW | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/translationOfPCW |

Tabla 5.36: Correspondencias de la taxonomía de relaciones del grupo 1 con OpenCyc (continuación)

en el capítulo 4) con los definidos en OpenCyc. Para definir las correspondencias de equivalencia semántica se ha recurrido a *annotation properties* de OWL, específicamente se ha utilizado la anotación predefinida `isDefinedBy` de RDFS la cual permite expresar dónde se encuentra la descripción original o autorizada de un concepto utilizado en una ontología. Las *annotation properties* tienen una semántica muy difusa y poco formal, orientada a personas. Para definir de manera formal la equivalencia semántica entre relaciones, hubiera sido necesario recurrir al uso de metaclases que tuviesen como instancias las relaciones definidas en la ontología, y haber definido las igualdades pertinentes entre instancias mediante el uso de la propiedad `sameAs` de OWL. Esta solución requiere del uso de OWL Full y, en consecuencia, no hay garantía computacional para la ontología desarrollada, de tal manera que las capacidades de razonamiento pueden estar limitadas.

| <i>Object property</i> | Dominio | Rango |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------|
| hasSemanticLanguageGeneral | General | Language |
| hasSemanticLanguageMetaMetadata | MetaMetadata | HumanLanguage |
| hasSemanticLanguageEducational | EducationalContextIndependent | HumanLanguage |

Tabla 5.37: Otras correspondencias. Adición de *object properties*

| Clase OpenCyc | URI |
|----------------------|---|
| HumanLanguage | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/HumanLanguage |
| Language | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/Language |

Tabla 5.38: Otras correspondencias. Adición de *object properties* (continuación)

5.3.3. Otras correspondencias

Además de las correspondencias previamente presentadas, la ontología extendida también establece correspondencias adicionales entre conceptos definidos en la ontología con conceptos de OpenCyc, con el objetivo de hacer explícita semántica que, en el modelo propuesto por LOM, permanece implícita. Recuérdese que en los capítulos 3 y 4 se han revisado las diferentes formas de semántica implícita en las que incurre LOM.

Algunos ejemplos de las correspondencias adicionales con OpenCyc que se han definido en la ontología extendida son los que se presentan a continuación:

1. Adición de *object properties* que constituyen una alternativa al uso de *data properties*. En concreto, estas *object properties* son `hasSemanticLanguageGeneral`, `hasSemanticLanguageMetaMetadata` y `hasSemanticLanguageEducational`. Estas *object properties* son, respectivamente, una alternativa al uso de las *data properties* `hasLanguageGeneral`, `hasLanguageMetaMetadata` y `hasLanguageEducational` las cuales, a su vez, se corresponden con los metadatos de LOM 1.3 *Language*, 3.4 *Language* y 5.11 *Language* de las categorías 1. *General*, 3. *Meta-Metadata* y 5. *Educational*, tal y como se ha presentado en la subsección 5.1.2. Las *object properties* añadidas hacen explícito que el rango de tales propiedades se relacionan con el concepto lenguaje. En el caso de las *data properties* dicho concepto queda oculto tras una cadena de caracteres. Las tablas 5.37 y 5.38 resumen las definiciones asociadas a las *object properties* añadidas. En el caso del rango asociado a la propiedad `hasSemanticLanguageGeneral` es importante destacar que incluye cualquier lenguaje destinado a transmitir información. Entre los lenguajes se incluye, no únicamente idiomas (que serían instancias de su subclase `HumanLanguage`), sino también otros tipos de lenguajes como sería el caso de lenguajes de programación.

| Propiedad | Descripción | Rango | Restricciones |
|--------------------|---|--------------------|---------------|
| hasJurisdiction | <i>Object property</i> funcional que recoge el ámbito cultural aplicable al objeto de aprendizaje. | AdministrativeUnit | Card. Max=1 |
| hasSpatialLocation | <i>Object property</i> funcional que representa la región o zona geográfica aplicable al objeto de aprendizaje. | GeographicalRegion | Card. Max=1 |
| hasTemporalPeriod | <i>Object property</i> funcional que representa el período temporal aplicable al objeto de aprendizaje. | TimeInterval | Card. Max=1 |

Tabla 5.39: Otras correspondencias. Adición de la clase **Coverage**

Esto permitiría definir, por ejemplo, el lenguaje asociado a objetos de aprendizaje que incluyan código. Estos objetos de aprendizaje pueden ser de interés en entornos de enseñanza-aprendizaje vinculados a las TIC.

- Adición de clases que permiten representar información que, sobre diferentes conceptos del mundo real, permanece oculta en una única propiedad (ya sea ésta una *object* o *data property*). En la ontología extendida este sería el caso, por ejemplo, de la clase **Coverage**. Dicha clase recoge, mediante *object properties* diferenciadas, la información relativa a la cultura (propiedad **hasJurisdiction**), zona geográfica (propiedad **hasSpatialLocation**) y periodo temporal (propiedad **hasTemporalPeriod**) aplicable al objeto de aprendizaje. Dicha información, en LOM, queda recogida mediante el metadato 1.6 *Coverage* de la categoría 1. *General*, el cual en la ontología básica (véase subsección 5.1.2) queda representado mediante la *object property* **hasCoverage**. Para añadir la información que incorpora la clase **Coverage** en los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje, la ontología extendida define la *object property* **hasSemanticCoverage**. El uso de esta propiedad constituye una alternativa, si los usuarios así lo deciden, a la utilización de la propiedad **hasCoverage**. La tabla 5.39 resume las propiedades que define la clase **hasCoverage**. A su vez, las clases que participan como rango de dichas propiedades se corresponden con las de OpenCyc, tal y como muestra la tabla 5.40.

5.4. Limitaciones encontradas en la representación

En esta sección se analizan las principales dificultades técnicas encontradas en la representación efectuada. Dichas dificultades causan que en las ontologías desarrolla-

| Clase OpenCyc | URI |
|--------------------|---|
| AdministrativeUnit | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/AdministrativeUnit |
| GeographicalRegion | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/GeographicalRegion |
| TimeInterval | http://sw.opencyc.org/2009/04/07/concept/en/TimeInterval |

Tabla 5.40: Otras correspondencias. Adición de clases relacionadas con la clase **Coverage**

das (tanto la básica como la extendida) no se haya representado todo el conocimiento formulado en el marco conceptual presentado en el capítulo 4.

Las principales dificultades son las que se presentan a continuación:

- Limitaciones relacionadas con el lenguaje de reglas. El lenguaje SWRL no admite ni la negación ni la disjunción de átomos en la definición de reglas. Esto implica que aquellas restricciones de integridad del capítulo 4 que en su definición como reglas SWRL requieran de tales elementos, no se han podido añadir a la representación efectuada. Dichas restricciones de integridad son la RI19, RI20, RI21, RI23, RI24 y RI58.
- Limitaciones relacionadas con el editor de reglas utilizado. El editor de reglas SWRL que incorpora la versión de Protégé empleada para la codificación de las ontologías es muy simple, en comparación con editores disponibles en versiones inferiores de Protégé (como sería el caso, por ejemplo, del editor disponible en Protégé 3.4). En concreto, los problemas de utilización del editor son:
 - a) Imposibilidad de crear reglas SWRL con consecuente vacío. Una regla SWRL de tales características permitiría especificar las condiciones suficientes que causarían que una ontología estuviese en un estado inconsistente, es decir, en un estado donde se estaría incumpliendo alguna restricción de integridad. En la representación efectuada, para solventar este problema, se ha recurrido a la clase **InconsistentClass**. Esta clase aparece en el consecuente de algunas de las reglas SWRL presentadas a lo largo de este capítulo. Como ya se ha comentado, esta clase es disjunta con cualquiera de las clases que se hayan podido definir. En consecuencia, el intento de añadir una instancia a esta clase, siempre y cuando esta instancia pertenezca también a alguna de las otras clases definidas, fuerza un estado inconsistente. En versiones posteriores de las ontologías, se podría proceder a la creación de nuevas subclases de la clase **InconsistentClass**, con el objetivo de ayudar al usuario

en la localización de los motivos por los cuales las ontologías pudieran estar en un estado inconsistente.

- b) Imposibilidad de utilizar predicados predefinidos (como sería el caso de predicados disponibles en las librerías SWRL Built-In) en la definición de reglas SWRL. Entre estos predicados predefinidos se encontrarían, entre otros, aquéllos que permiten la comparación de cadenas de caracteres. Esto implica que las restricciones de integridad del capítulo 4 que en su definición como reglas SWRL necesiten predicados predefinidos, no se hayan podido incorporar. En concreto estas restricciones de integridad son la RI31, RI32, RI33, RI36, RI47, RI48, RI52, RI53, RI56, RI57, RI59, RI61, RI62 y RI77.
- Limitaciones relacionadas con OWL y el sublenguaje utilizado (OWL DL). Dichas limitaciones son las siguientes:
- a) Dificultades en la incorporación de propiedades ternarias. OWL únicamente permite, de manera directa, la definición de propiedades binarias entre instancias. Para poder incorporar propiedades n-arias (como sería el caso de propiedades ternarias) en OWL es necesario realizar un proceso de reificación. En el capítulo 4 se proponía la definición de relaciones ternarias (en concreto las relaciones *previous* y su relación inversa *next*). Estas relaciones permiten ordenar, desde un punto de vista retórico, los objetos de aprendizaje que conforman un objeto de aprendizaje compuesto de acuerdo a las diferentes estructuras organizativas internas que propone LOM. Adicionalmente, el uso de estas relaciones está sujeto a diferentes restricciones de integridad. Dichas restricciones de integridad, en su definición como reglas SWRL, en general requieren negación y disjunción de átomos. Por todos estos motivos, la ontología extendida no incorpora la definición de dichas relaciones, ni tampoco de sus restricciones de integridad. Dichas restricciones de integridad son la RI22, RI25, RI28, RI37, RI38, RI39 y RI40.
 - b) Imposibilidad de definir ciertas características en algunas de las propiedades que representan relaciones entre los objetos de aprendizaje. En este caso la limitación se relaciona con prohibiciones de OWL DL. En concreto dicha característica es la transitividad, la cual no ha podido ser definida para aquellas propiedades que participen en restricciones de cardinalidad. Dicha prohibición también se extiende a sus propiedades inversas y a las propie-

dades supertipo que de dichas propiedades (directas e inversas) se puedan definir. La definición de la transitividad en una ontología donde se den las circunstancias anteriormente mencionadas impediría garantizar la decidibilidad (todos los cálculos efectuados por el razonador acaban en un tiempo finito) de la misma. Sobre la ontología extendida éste sería el caso, por ejemplo, de las propiedades `hasVersion` y `hasPart` que participan en restricciones de cardinalidad definidas a nivel de clase OWL (véase las definiciones asociadas a las clases `VersionLO` y `CompoundLO` presentadas en la subsección 5.2.1). Estas propiedades representan las relaciones *has version* y *has part* que pertenecen, respectivamente, a los grupos 1 y 2. Como efecto colateral, esta prohibición también causa que no se hayan incorporado en la ontología extendida las restricciones de integridad que aseguran que no se produzcan ciclos (en concreto, ciclos indirectos) en las cadenas de relaciones donde participan más de dos objetos de aprendizaje. Estas restricciones de integridad son la RI26 y RI27.

- c) Imposibilidad de definir de manera formal la equivalencia semántica entre conceptos. Para poder realizar esta definición hubiera sido necesario proceder a la reificación de dichos conceptos, es decir, transformarlos en instancias de metaclases y haber definido la igualdad entre los pares de instancias (mediante el uso del constructor `sameAs` de OWL) que representan conceptos idénticos del mundo real. Para ello se requiere del uso de OWL Full y, en consecuencia, no hay garantía computacional para la ontología desarrollada. Esta situación afecta a clases de objetos de aprendizaje (por ejemplo, las clases `QuestionnaireLO` y `AcademicTtestLO` o las clases `ExerciseLO` y `QuestionLO` presentadas en la subsección 5.2.1) y también a relaciones no taxonómicas entre objetos de aprendizaje (véase la sección 5.3).

A partir del análisis de las limitaciones encontradas es posible concluir que un total de 29 restricciones de integridad, sobre las 78 incluidas en el capítulo 4, no han sido incorporadas a las ontologías desarrolladas. Esto representa aproximadamente un 37 % del total de las restricciones de integridad propuestas. Para solventar dichas limitaciones y poder disponer de una implementación que soporte todas las restricciones propuestas en el marco conceptual, además de poder editar objetos de aprendizaje cómodamente, también se ha acometido el desarrollo de un editor de objetos de aprendizaje. A pesar que existen diferentes editores de LOM –en Ghebghoub et al. (2008) y

Huang et al. (2006) es posible encontrar una revisión de los editores más conocidos—, dado que ninguno de ellos se adecuaba a las necesidades requeridas, se ha optado por un desarrollo propio. Este editor, denominado LOManager, a grandes rasgos (para una descripción más detallada, véase el apéndice C), permite:

1. Añadir nuevos objetos de aprendizaje. Para cada objeto de aprendizaje es posible definir los diferentes tipos de registros de metadatos que lo describen. Éstos incorporan, en última instancia, los metadatos que se agrupan en las diferentes categorías. Es importante destacar que el valor de diversos metadatos se calcula de manera automática.
2. La validación de los registros de metadatos asociados a cada objeto de aprendizaje, de acuerdo a las restricciones de integridad definidas. En caso que alguna de estas restricciones de integridad se esté incumpliendo, el usuario recibe información sobre el problema detectado.
3. Modificar la información de los objetos de aprendizaje previamente introducidos.
4. Eliminar objetos de aprendizaje. Dependiendo de las relaciones no taxonómicas definidas entre los objetos de aprendizaje, es posible que no se permita la eliminación de objetos de aprendizaje.
5. Buscar objetos de aprendizaje de acuerdo a diferentes características. Principalmente estas búsquedas se basan en cadenas de caracteres. Para aquéllos objetos de aprendizaje que verifiquen las condiciones especificadas por el usuario en los criterios de búsqueda, es posible recuperar información sobre las representaciones finales disponibles, si para los objetos de aprendizaje recuperados existen traducciones, así como las posibles versiones disponibles. Adicionalmente, si fuera necesario, también se ofrece información sobre si los objetos de aprendizaje recuperados requieren del uso de otros.
6. Exportar los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje (de todos ellos o de una selección de los mismos) a la ontología básica. A partir de dicha instanciación de la ontología básica, y una vez ésta es importada a la ontología extendida, el razonador es capaz de inferir nuevo conocimiento.

Para finalizar es importante destacar que el uso del editor LOManager también permite trabajar con versiones simplificadas de las ontologías básica y extendida. Dado

que el editor garantiza que todas las restricciones de integridad formuladas para el marco conceptual se cumplen, sería posible eliminar de las ontologías desarrolladas las definiciones que persiguen el mismo propósito. En concreto, sería suficiente mantener las definiciones que permiten, a partir de la información contenida en los registros de metadatos, la clasificación de los objetos de aprendizaje, así como aquellas definiciones que permiten establecer las relaciones no taxonómicas que existen entre los objetos de aprendizaje. Todas estas definiciones, básicamente, están codificadas en forma de reglas SWRL. Poder eliminar parte de dichas reglas SWRL tendría, además, un efecto positivo en el rendimiento del razonador.

Capítulo 6

Evaluación

*La teoría, querido amigo, es siempre gris,
y verde el árbol áureo de la vida.*
Fausto, Johann Wolfgang Goethe

En este capítulo se realiza la evaluación de la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje presentada en el capítulo 5. Dicha evaluación se efectúa desde diferentes ámbitos, los cuales se describen brevemente a continuación:

- Evaluación de la corrección. Se comprueba que, desde un punto de vista lógico-formal, la representación ontológica está bien descrita y que no existen incoherencias. Estas cuestiones se abordan en la sección 6.1.
- Evaluación de la completitud. Se comprueba que la representación ontológica realizada permite gestionar registros de metadatos (y los objetos de aprendizaje que éstos describen) que incorporan estructuras semánticas adicionales a las propuestas del estándar LOM y por otros esquemas de representación basados en ontologías propuestos en la literatura. Adicionalmente, también se evalúa como la representación ontológica propuesta podría ser utilizada para representar registros de metadatos existentes conformes a LOM. Las cuestiones relativas a este punto se tratan en las secciones 6.1 y 6.2.
- Evaluación de la utilidad. Se trata de evaluar cómo, desde un punto de vista funcional, la representación ontológica realizada puede ser aplicada en diferentes escenarios. Estos aspectos se abordan en la sección 6.3.

6.1. Evaluación de la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje

A la hora de evaluar una representación formal de conocimiento, como sería el caso de la representación ontológica efectuada del marco conceptual para los objetos de aprendizaje, es necesario evaluar, en primer lugar, dos aspectos fundamentales de la misma: su corrección y completitud. En las subsecciones que vienen a continuación se tratan en más profundidad cada uno de estos aspectos.

6.1.1. Evaluación de la corrección

En cuanto a la corrección, es necesario comprobar que dicha representación formal está bien especificada utilizando el lenguaje formal escogido. En el caso de este trabajo de tesis, para la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje, se han desarrollado dos ontologías codificadas en OWL (en concreto, usando el subconjunto OWL DL) que se extienden mediante la definición de reglas SWRL. Tal y como ya se ha comentado, SWRL permite realizar definiciones complejas que no son directamente expresables en OWL y que sirven para inferir nuevo conocimiento. En consecuencia, para cada una de las ontologías desarrolladas es necesario comprobar, por un lado, la corrección de las definiciones OWL efectuadas, y por otro, la corrección de las reglas SWRL definidas. Adicionalmente, es necesario comprobar que el conocimiento reflejado en las ontologías no presenta contradicciones, y por lo tanto se puede satisfacer. Para ello, es necesario usar razonadores de lógica de descripciones. En concreto, el razonador utilizado en este trabajo de tesis ha sido Pellet (en su versión 2.2.0).

En la construcción de ambas ontologías se ha seguido un proceso iterativo en el que, de manera incremental, se han realizado las siguientes tareas:

1. Adición de definiciones de interés (en OWL y/o SWRL)
2. Comprobación de la corrección de cada una de las definiciones añadidas. Para cada definición o grupo de definiciones relacionadas, se ha verificado que intensionalmente no entran en contradicción con otras definiciones previamente introducidas. También se ha evaluado que desde un punto de vista extensional –es decir,

añadiendo de manera estratégica en la ontología instancias de ejemplo— tampoco se producen incoherencias.

3. Integración de las definiciones validadas en la ontología

6.1.2. Evaluación de la completitud

En relación a la completitud, dada la dificultad para que ésta se pueda verificar de manera formal, se ha procedido a comprobar que las ontologías que se han desarrollado permiten representar de manera adecuada la parte de la realidad (que no es otra que la descripción consistente de los objetos de aprendizaje con vistas a mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los mismos) que se pretende modelar. Adicionalmente, dicha representación es, desde un punto de vista semántico, más significativa que la representación basada en XML propuesta por el estándar LOM, y también mejora (o al menos complementa) otras representaciones basadas en ontologías que existen en la literatura, tal y como se pondrá de manifiesto en la sección 6.2.

Para mostrar la capacidad expresiva de las ontologías desarrolladas se ha elaborado un conjunto de casos de ejemplo. En concreto, se ha procedido a la descripción de diversos objetos de aprendizaje a través de sus correspondientes registros de metadatos. Dicha descripción se ha realizado mediante el editor LOManager, el cual está descrito en el apéndice C. Cada registro de metadatos incluye, al menos, todos los metadatos que se han determinado como obligatorios (y por lo tanto, las categorías donde éstos se incluyen), de acuerdo a lo presentado en el capítulo 4. De manera similar, en caso de definición de un elemento opcional (por ejemplo, una categoría o metadato agregado), se incluyen los elementos que se han designado como de obligatoria aparición (por ejemplo, en el caso de una categoría, los metadatos que ésta debe incorporar de manera necesaria). Obviamente, las descripciones realizadas también verifican las restricciones de integridad definidas en el marco conceptual para los objetos de aprendizaje. Si bien no se ha creado una descripción de un objeto de aprendizaje que incluya todas las categorías propuestas por LOM, es importante destacar que el diseño de los casos de ejemplo garantiza que todas las categorías aparezcan, al menos, en la descripción de uno de los objetos de aprendizaje.

| Clase LO | Núm. LO | Num. RM Indep. Cont. | Num. RM Dep. Cont. | Comentarios |
|----------------|---------|----------------------|--------------------|--|
| ConceptualLO | 14 | 14 | 3 | |
| MaterializedLO | 17 | 17 | 4 | 3 ConceptualLO tienen asociados 2 MaterializedLO. |
| TranslationLO | 1 | | 1 | También es ConceptualLO. |
| VersionLO | 1 | | 1 | También es ConceptualLO. Versiona al objeto de aprendizaje traducción, es decir, al objeto de aprendizaje de tipo TranslationLO. |

Tabla 6.1: Número de objetos de aprendizaje creados de acuerdo a su nivel de abstracción y registros de metadatos asociados

Las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 muestran, a modo de resumen, el número de objetos de aprendizaje que conforman los casos de ejemplo y las clases a las que pertenecen dichos objetos de aprendizaje. Asimismo, la tabla 6.1 también muestra el número de registros de metadatos creados, así como su tipo. Es importante destacar que, en el contexto de LOManager, no se mantiene información alguna acerca de las relaciones de herencia que existen entre las diferentes clases de objetos de aprendizaje, simplemente se informan los metadatos relevantes para poder crear —específicamente, en la ontología extendida— las diferentes jerarquías de especialización de los objetos de aprendizaje. Como se puede apreciar en la tabla 6.1 se han descrito un total de 31 objetos de aprendizaje, de los cuales 14 son conceptuales (dos de ellos, además, son derivados, uno traducción y otro versión) y 17 constituyen las materializaciones de dichos objetos de aprendizaje conceptuales. Por su parte, la tabla 6.2 muestra la naturaleza de los mismos de acuerdo a su estructuración interna y nivel de agregación (metadatos 1.7 *Structure* y 1.8 *Aggregation level* de la categoría 1. *General*). Finalmente, la tabla 6.3 muestra cuántos de dichos objetos de aprendizaje son de tipo activo, pasivo y mixto (esta información se relaciona con el metadato 5.1 *Interactivity type* de la categoría 5. *Educational*), así como cuáles son sus tipos de recurso de aprendizaje asociados. El tipo de recurso de aprendizaje se corresponde con el metadato 5.2 *Learning resource type* propuesto por LOM para la categoría 5. *Educational* y puede ser multivaluado. En consecuencia, en la tabla 6.3, las secciones que se corresponden con aspectos instruccionales y de representación, claramente pueden estar contabilizando un mismo objeto de aprendizaje en más de una ocasión, hecho que dificulta el seguimiento de los diferentes objetos de aprendizaje creados en relación a las tablas 6.1 y 6.2. En el caso de tipos de

| Estructuración interna | | | |
|------------------------|--------------|----------------|--|
| Clase LO | ConceptualLO | MaterializedLO | Comentarios |
| AtomicLO | 12 | 15 | Extensionalmente equivalente a AggregationLevel1LO. |
| CompoundLO | 2 | 2 | |
| CollectionLO | 1 | 1 | También es CompoundLO. |
| LinearLO | 1 | 1 | También es CompoundLO. Las relaciones <i>next/previous</i> sólo están almacenadas en LO-Manager. |
| Núm. LO | 14 | 17 | Los objetos de aprendizaje se pueden clasificar de manera completa en AtomicLO y CompoundLO. |
| Nivel de agregación | | | |
| Clase LO | ConceptualLO | MaterializedLO | Comentarios |
| AggregationLevel1LO | 12 | 15 | Extensionalmente equivalente a AtomicLO. |
| AggregationLevel2LO | 2 | 2 | También son CompoundLO. |
| Núm. LO | 14 | 17 | |

Tabla 6.2: Número de objetos de aprendizaje creados de acuerdo a su estructuración interna y nivel de agregación

recurso de aprendizaje relativos a aspectos de representación, recuérdese que sólo son aplicables a los objetos de aprendizaje materialización, tal y como se ha presentado en el capítulo 4. Es por ello que, en la tabla 6.3, la columna correspondiente a los objetos conceptuales aparece el valor N.A. (no aplicable).

La descripción de los objetos de aprendizaje realizada en LOManager está disponible para su consulta en la dirección Web que se indica en el apéndice C. Es importante destacar que no siempre es necesario declarar explícitamente la pertenencia de un objeto de aprendizaje a las categorías indicadas en las tablas. Por ejemplo, la estructuración interna, el nivel de agregación y el modo de aprendizaje promovido por el objeto de aprendizaje son calculados de manera automática por LOManager. De manera similar, todos los objetos de aprendizaje materialización incorporan automáticamente, entre otros, todos los tipos de recurso de aprendizaje asociados al objeto de aprendizaje conceptual que materializan.

Las descripciones efectuadas mediante LOManager se pueden volcar en uno o diversos archivos OWL (en función de los objetos de aprendizaje seleccionados por el usuario de las relaciones que éstos establezcan con otros objetos de aprendizaje) permitiendo instanciar la ontología básica. Entre otros elementos, se instancian los diferentes tipos registros de metadatos que se asocian a cada objeto de aprendizaje, las categorías que éstos incluyen y los metadatos (mediante *object* o *data properties*) que declaran. En relación a los diferentes tipos de registros de metadatos, es importante destacar que

| Modo de aprendizaje promovido | | | |
|-------------------------------|--------------|----------------|---|
| Clase LO | ConceptualLO | MaterializedLO | Comentarios |
| ActiveLO | 4 | 5 | Los objetos de aprendizaje activos sólo declaran tipos de recursos de aprendizaje (metadato 5.2 <i>Learning resource type</i>) de naturaleza activa. |
| PassiveLO | 7 | 9 | Los objetos de aprendizaje pasivos sólo declaran tipos de recursos de aprendizaje de naturaleza pasiva. |
| MixedLO | 3 | 3 | Los objetos de aprendizaje mixtos declaran, al menos, un tipo de recurso activo y uno pasivo. |
| Núm. LO | 14 | 17 | Los objetos de aprendizaje se pueden clasificar de manera completa en ActiveLO, PassiveLO y MixedLO. |
| Aspectos instruccionales | | | |
| Clase LO | ConceptualLO | MaterializedLO | Comentarios |
| ExplanationLO | 6 | 8 | También serán PassiveLO o MixedLO. |
| GlossaryLO | 1 | 1 | También serán PassiveLO o MixedLO. |
| SpecificationLO | 2 | 2 | También serán PassiveLO o MixedLO. |
| InstructionsLO | 1 | 1 | También serán PassiveLO o MixedLO. |
| IndicationLO | 1 | 1 | También serán PassiveLO o MixedLO. |
| ProblemStatementLO | 2 | 3 | También serán ActiveLO o MixedLO. |
| SoftwareObjectLO | 1 | 1 | También serán ActiveLO o MixedLO. |
| SelfAssessmentLO | 1 | 1 | También serán ActiveLO o MixedLO. |
| ExamLO | 3 | 3 | También serán ActiveLO o MixedLO. |
| Aspectos de representación | | | |
| Clase LO | ConceptualLO | MaterializedLO | Comentarios |
| NarrativeTextLO | N.A. | 12 | También estarán incluidos, al menos, en una de las categorías de acuerdo a aspectos instruccionales. |
| SoundLO | N.A. | 2 | También estarán incluidos, al menos, en una de las categorías de acuerdo a aspectos instruccionales. |
| IndexLO | N.A. | 1 | También estarán incluidos, al menos, en una de las categorías de acuerdo a aspectos instruccionales. |
| SoftwareLO | N.A. | 1 | También estarán incluidos, al menos, en una de las categorías de acuerdo a aspectos instruccionales. |
| DiagramLO | N.A. | 1 | También estarán incluidos, al menos, en una de las categorías de acuerdo a aspectos instruccionales. |

Tabla 6.3: Número de objetos de aprendizaje creados de acuerdo a características educativas. Modo de aprendizaje promovido, aspectos instruccionales y de representación

cada uno de los registros de metadatos dependientes del contexto que se asocian a un mismo objeto de aprendizaje representan un contexto de uso educativo diferente para ese objeto de aprendizaje. Asimismo es necesario resaltar que todos los registros de metadatos son conformes¹ a LOM, dado que el único metadato que se añade no reemplaza a ninguno de los metadatos propuestos por el estándar. Dicho metadato sólo puede aparecer en los registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo, y queda representando en la ontología básica mediante la *object property hasUsingContext*, tal y como se ha presentado en el capítulo 5. En consecuencia, es posible afirmar que los registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo son estrictamente

¹Un registro de metadatos es conforme a LOM cuando añade nuevos metadatos que no sustituyen a metadatos originalmente propuestos por el estándar.

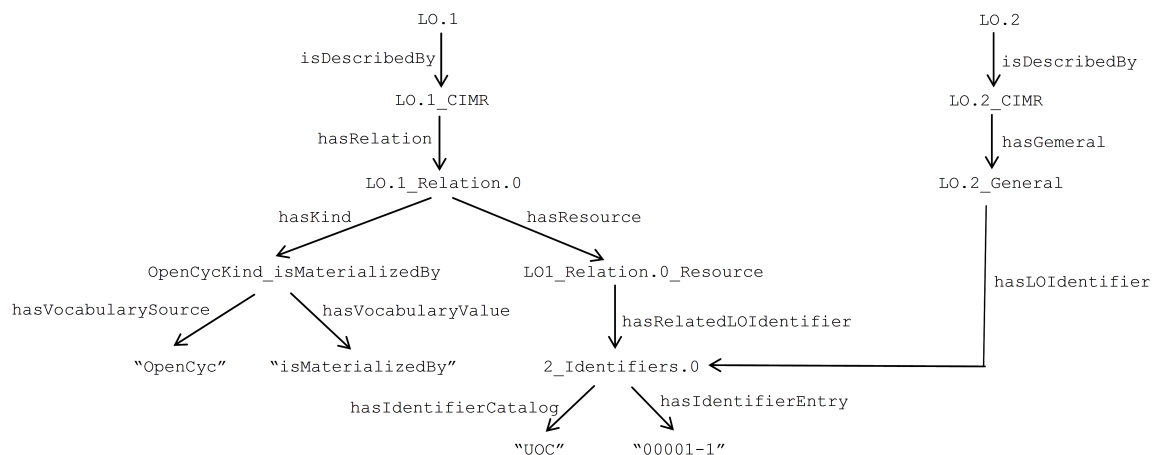


Figura 6.1: Ejemplo de definición de la relación **isMaterializedBy** en registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo

conformes² a LOM. De manera similar, reseñar que los vocabularios añadidos se obtienen, siempre que ha sido posible, como refinamiento de los propuestos por LOM y no sustituyen a elementos originalmente propuestos por el estándar. Esto, de acuerdo a LOM, maximiza la interoperabilidad semántica.

A modo de ejemplo, las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 muestran información parcial disponible en la ontología básica, volcada desde LOManager, acerca de dos de los objetos de aprendizaje creados en los casos de ejemplo. Se trata del objeto de aprendizaje conceptual que se corresponde con la instancia LO.1, y uno de sus objetos de aprendizaje materialización (instancia LO.2). La figura 6.1 muestra cómo se especifica esta información en el caso del registro de metadatos que describe a LO.1, a través de las *object* o *data properties* que intervienen de manera directa o indirecta en el modelado la categoría 7. *Relation* de LOM. Aunque no se incluye en la figura, LO.2 define la relación inversa en su registro de metadatos. Los registros de metadatos asociados a los objetos de aprendizaje (las instancias LO.1_CIMR y LO.2_CIMR, tal y como muestra la figura 6.1) son registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo. Por su parte, la figura 6.2 muestra que el objeto de aprendizaje concreción LO.2 define para ciertos metadatos el mismo valor que el conceptual LO.1 con el que se relaciona. Por razones de espacio, en la figura sólo se exponen un par de ejemplos, que se corresponden con los metadatos 1.2 *Title* y 5.2 *Learning resource type* de las categorías 1. *General* y 5. *Educa-*

²Un registro de metadatos es estrictamente conforme a LOM cuando incorpora únicamente metadatos propuestos por el estándar.



Figura 6.2: Ejemplo de metadatos con idéntico valor en registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo de objetos de aprendizaje relacionados

tional. En el caso de este último metadato, es importante destacar que L0.2 añade como tipo de recurso texto narrativo (instancia `LOMLearningResourceType_narrative_text` de la clase que representa el vocabulario propuesto por LOM para la especificación de los tipos de recurso de aprendizaje), el cual se relaciona con aspectos de representación. Asimismo, la figura 6.2 también muestra algunas de las características técnicas del objeto de aprendizaje concreción L0.2. Finalmente, la figura 6.3 muestra un ejemplo de información relativa a uno de los contextos de uso educativos que tiene asociado el objeto de aprendizaje conceptual L0.1. En ese mismo contexto de uso educativo (instancia `UsingContext_UC.0` de la clase `UsingContext`) también se utiliza su objeto de aprendizaje concreción L0.2. Específicamente, en la figura se muestra información de naturaleza educativa que se relaciona con los metadatos 5.5 *Intended end user role* y 5.6 *Context*. Dado que se trata del mismo contexto de uso educativo, la información debe

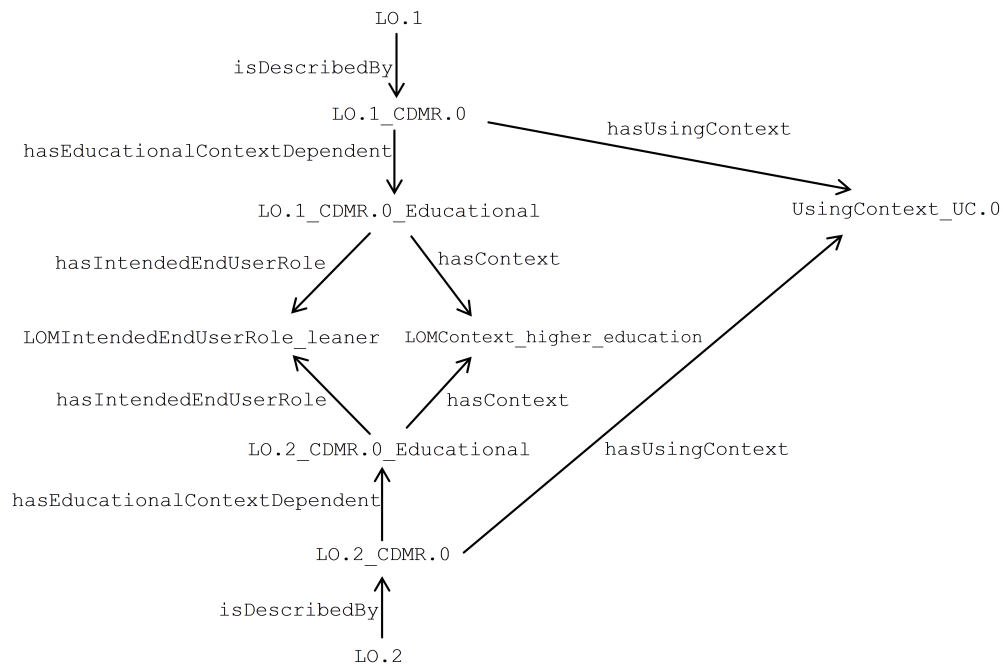


Figura 6.3: Ejemplo de metadatos con idéntico valor en los registros de metadatos dependientes del contexto de uso de objetos de aprendizaje relacionados

ser coincidente y queda contenida en sendos registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo, representados por las instancias **LO.1_CDMR.0** y **LO.2_CDMR.0** que se asocian, respectivamente, con **LO.1** y **LO.2**. En el apéndice B se proporciona información adicional sobre las diferentes instanciaciones de la ontología básica de los casos de ejemplo, entre los que se incluyen los que se acaban de discutir.

Cada instanciación de la ontología básica se puede importar en la extendida, y mediante el uso del razonador es posible inferir nuevo conocimiento. Entre este conocimiento, se incluye:

1. La clasificación de los objetos de aprendizaje de acuerdo a las diferentes jerarquías de especialización propuestas.
2. La determinación de las diferentes relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje, y como dichas relaciones se interrelacionan con otras, de acuerdo a las taxonomías de relaciones propuestas.

Las figuras 6.4 y 6.5 muestran las clases a las que pertenecen los objetos de aprendizaje tomados como ejemplo en esta sección. En concreto, en la figura 6.4 se puede

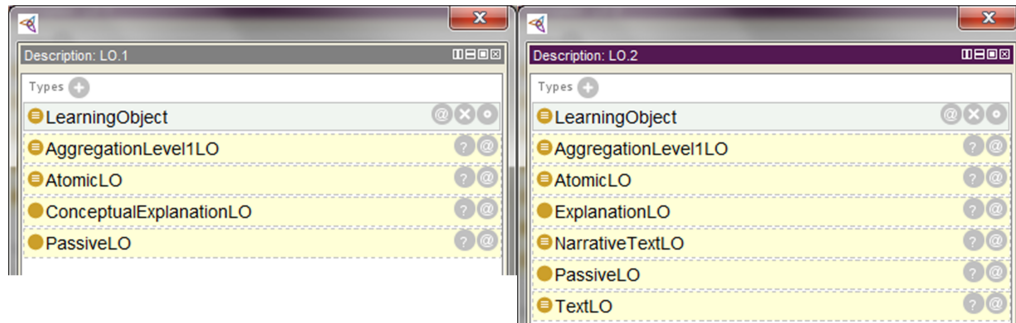


Figura 6.4: Ejemplo de clasificación inferida de objetos de aprendizaje relacionados

observar (resaltado en color amarillo) el conocimiento inferido por el razonador en la ontología extendida a este respecto para L0.1 y L0.2. La visualización que de esta información ofrece Protégé en el cuadro mostrado en la figura es incompleta, en concreto se omite aquella que se derivaría de las jerarquías de herencia definidas. Para solventar la situación, se ha procedido a exportar todos los axiomas inferidos en una nueva ontología que muestra, para cada una de las instancias en ella contenidas, el detalle completo de las clases a las que pertenece, entre otras informaciones. Justamente esta información, para el caso de L0.1 y L0.2, es la que se enseña en la figura 6.5. El objeto de aprendizaje conceptual L0.1 pertenece a las clases `AtomicLO` (y su clase equivalente `AggregationLevel1LO`) y, en consecuencia, su objeto de aprendizaje materialización L0.2 también. Atendiendo a características educativas, ambos objetos objetos de aprendizaje constituyen explicaciones, y dada la naturaleza expositiva de las mismas, los objetos de aprendizaje pertenecen a la clase `PassiveLO`. Puesto que L0.1 es un objeto de aprendizaje conceptual, es instancia de la clase `ConceptualExplanationLO` (esta clase es subclase de `ExplanationLO`). En el caso de L0.2 es importante destacar que, en relación a características educativas, se añade la clasificación correspondiente a aspectos de representación, de tal manera que L0.2 es instancia de `NarrativeTextLO`. Adicionalmente, se hace explícito que L0.2, de acuerdo a Dublin Core, pertenecería a la clase `TextLO`. El hecho que L0.2 sea instancia de la clase `MaterializedLO` (esta clase es superclase de `NarrativeTextLO`) también se puede observar en la figura 6.5. Dado que, a su vez, `MaterializedLO` es subclase de `InformationBearingThing` (su clase relacionada de OpenCyc), es posible concluir que L0.2 también es instancia de `InformationBearingThing` (véase, de nuevo, la figura 6.5).

Con respecto a las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje –y de manera similar al caso de la clasificación de los objetos de aprendizaje en las

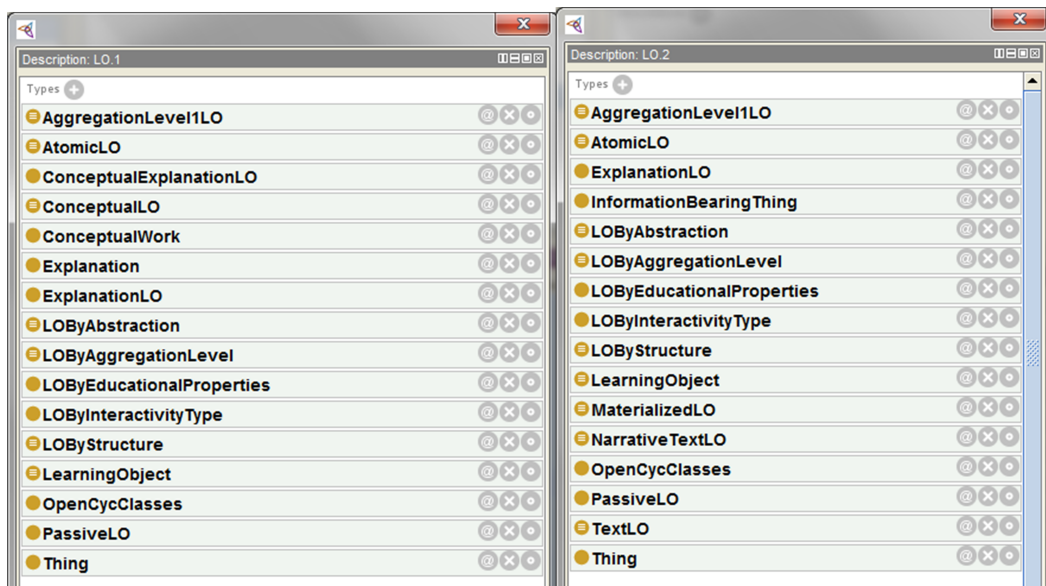


Figura 6.5: Ejemplo de exportación de la clasificación inferida de objetos de aprendizaje relacionados

diferentes clases que conforman las jerarquías de especialización-, éstas se establecen a partir de la información contenida en los registros de metadatos y de la aplicación de las reglas SWRL definidas en la ontología. A modo de ejemplo la tabla 6.4 muestra como, a partir de la información disponible en el registro de metadatos de L0.1 (nótese que parte de dicha información también se ha mostrado en la figura 6.1), se infiere que L0.1 queda materializado (relación *isMaterializationBy*) por L0.2. A partir de aquí, mediante la aplicación de otras definiciones, se infiere nuevo conocimiento como sería el caso, por ejemplo, de la relación inversa *materializationOf* que L0.2 establece con L0.1, así como información relativa a la jerarquía de herencia de ambas relaciones. Toda esta información se muestra en la figura 6.6. Es importante destacar que L0.1 también establece relaciones con otros objetos de aprendizaje que no han sido mencionados a lo largo de esta sección. Más específicamente, L0.1 referencia a los objetos de aprendizaje identificados como L0.7 (un glosario) y L0.9 (explicaciones que especifican la sintaxis del lenguaje SQL), y también tiene asociado un objeto de aprendizaje traducción (en concreto, el objeto de aprendizaje L0.32). Adicionalmente L0.1 queda materializado por L0.3, aparte de L0.2. Además de las relaciones, en la figura se pueden apreciar los registros de metadatos que describen a los objetos de aprendizaje L0.1 y L0.2.

| |
|--|
| Regla SWRL |
| LearningObject(?L0), MetadataRecord(?MR), describesLO(?MR,?L0), Relation(?R), hasRelation(?MR,?R), hasKind(?R,?K), ExtendedLOMRelationKind(?K), hasVocabularyValue(?K, 'isMaterializedBy'), Resource(?RES), hasResource(?R,?RES), hasRelatedLOIdentifier(?RES,?LOID_RES), LearningObject(?L02), MetadataRecord(?MR2), describesLO(?MR2,?L02), General(?G2), hasGeneral(?MR2,?G2), hasLOIdentifier(?G2,?LOID_RES) describesLO(?MR2,?L02) \rightarrow isMaterializedBy(?L0,?L02) |
| Conocimiento disponible (hechos y/o axiomas inferidos) |
| isDescribedBy(L0.1,L0.1_CIMR) hasRelation(L0.1_CIMR,L0.1_Relation.0) hasKind(L0.1_Relation.0,OpenCycKind.isMaterializedBy) hasVocabularyValue(OpenCycKind.isMaterializedBy, 'isMaterializedBy') hasResource(L0.1_Relation.0, L0.1_Relation.0_Resource) hasRelatedLOIdentifier(L0.1_Relation.0_Resource, 2_Identifier.0) isDescribedBy(L0.2,L0.2_CIMR) hasGeneral(L0.2_CIMR,L0.2_General) hasLOIdentifier(L0.2_General,2_Identifier.0) LearningObject(L0.1) MetadataRecord(L0.1_CIMR) Relation(L0.1_Relation.0) ExtendedLOMRelationKind(OpenCycKind.isMaterializedBy) Resource(L0.1_Relation.0_Resource) LearningObject(L0.2) MetadataRecord(L0.2_CIMR) General(L0.2_General) |
| Conocimiento inferido (nuevo axioma inferido) |
| isMaterializedBy(L0.1,L0.2) |

Tabla 6.4: Ejemplo de aplicación de reglas SWRL sobre relaciones

Una vez comprobada la capacidad de representación de las ontologías desarrolladas, para complementar su evaluación a efectos de completitud, sería necesario comprobar si dichas ontologías permitirían albergar descripciones de los objetos de aprendizaje estrictamente conformes a LOM efectuadas en XML, como las que están disponibles en repositorios. En definitiva, se trataría de evaluar si existe un mecanismo que permitiese la traducción automática de la representación XML propuesta por LOM a las ontologías desarrolladas, con la consiguiente mejora en su capacidad expresiva. A pesar de que, en el contexto de este trabajo de tesis, no se ha desarrollado una funcionalidad de este tipo (ésta se podría ofrecer, por ejemplo, en LOManager), a continuación se discute brevemente si dicha traducción automática sería factible. En el caso de aquellos metadatos cuyo valor se va a mantener invariable, con independencia de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, la respuesta es positiva, es decir, sería posible efectuar una traducción automática que permitiese crear los registros de metadatos que contienen estos tipos de metadatos. Es más, sería posible segregarlos en registros de metadatos que se podrían asociar a objetos de aprendizaje conceptuales y concreción. Esto es así puesto que, tal y como se ha establecido en el capítulo 4, se han podido diferenciar las categorías de LOM que se aplican a los diferentes tipos de registros de metadatos independientes del contexto de uso educativo. Además, en el caso

| Property assertions: LO.1 | Property assertions: LO.2 |
|-------------------------------|------------------------------|
| Object property assertions + | Object property assertions + |
| isIntangiblePartOf LO.2 | isDescribedByMR LO.2_CDMR.0 |
| isIntangiblePartOf LO.3 | isDescribedByMR LO.2_CDMR.1 |
| sourcePatternFor LO.32 | isDescribedByMR LO.2_CIMR |
| isDescribedByMR LO.1_CDMR.1 | intangibleParts LO.1 |
| isDescribedByMR LO.1_CDMR.0 | parts LO.1 |
| isDescribedByMR LO.1_CIMR | containsInformation LO.1 |
| isMaterializedBy LO.2 | materializationOf LO.1 |
| isMaterializedBy LO.3 | LORelationGroup2 LO.1 |
| isPart LO.2 | |
| isPart LO.3 | |
| hasTranslation LO.32 | |
| translationOfPCW LO.32 | |
| containedInformationIn LO.2 | |
| containedInformationIn LO.3 | |
| references LO.7 | |
| references LO.9 | |
| containsInformationAbout LO.7 | |
| containsInformationAbout LO.9 | |
| LORelationGroup3 LO.7 | |
| LORelationGroup3 LO.9 | |
| LORelationGroup2 LO.2 | |
| LORelationGroup2 LO.3 | |

Figura 6.6: Ejemplo de relaciones inferidas de objetos de aprendizaje relacionados

que la representación XML utilizase los vocabularios propuestos por LOM, sería posible clasificar los objetos de aprendizaje y definir las relaciones que entre ellos se establecen. Si la representación no utiliza los vocabularios propuestos por LOM, sería posible incorporar estos vocabularios en la ontología básica, y con intervención humana sería posible establecer las correspondencias pertinentes con los vocabularios disponibles. Sin embargo, en el caso de metadatos que representan información que puede variar en función del contexto de uso educativo de los objetos de aprendizaje, la respuesta es negativa, especialmente si toda la información disponible del mismo se encuentra en un único registro de metadatos, y en todo caso se podría ofrecer una traducción semiautomática, tal y como se tratará de manera más detallada en la subsección 6.3.3. Esto es consecuencia de la estructuración de categorías propuesta por LOM la cual no permite detectar, sin intervención humana, qué agrupaciones específicas de propiedades educativas, clasificaciones y anotaciones representan un posible contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje. Precisamente, cada una de esas agrupaciones específicas

(véase el capítulo 4), daría lugar a un registro de metadatos dependiente del contexto de uso educativo.

6.2. Comparación con otros esquemas de representación basados en ontologías

En esta sección se compara la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje propuesta en este trabajo de tesis con otros esquemas de representación basados en ontologías que, para el estándar LOM, se han propuesto en la literatura, con el objetivo de evaluar los elementos innovadores que ésta incorpora. Es importante recordar que dichos esquemas de representación basados en ontologías han sido analizados en el capítulo 3. El resumen de los mismos se puede consultar en las cuatro primeras filas la tabla 6.5.

A continuación se detallan los elementos innovadores más destacables que incorpora la representación efectuada en este trabajo de tesis. Dichos elementos también se resumen en la última fila de la tabla 6.5:

1. Representación del concepto de clase de objeto de aprendizaje y su organización en diferentes jerarquías de especialización explícitas, de acuerdo a diferentes criterios, incluyendo también la definición de cómo éstas se relacionan entre sí. La mayoría de las jerarquías de especialización propuestas se basan en la organización taxonómica de vocabularios (generalmente con origen LOM) que se han extendido con clases extraídas de OpenCyc, definiéndose también las correspondencias entre las clases de objetos de aprendizaje propuestas y las de OpenCyc. Asimismo se propone una jerarquía de especialización que permite reconocer, por un lado, la representación de creaciones intelectuales (y sus posibles formatos de representación final disponibles) y por otra, de obras derivadas (como sería el caso de traducciones y versiones). Esta última jerarquía también permite que la representación haga explícito qué metadatos son aplicables en la descripción de los objetos de aprendizaje, en función de la pertenencia de éstos a las clases de interés que la jerarquía incorpora, proponiendo para ello la creación de diferentes tipos de registros de metadatos. Entre los trabajos analizados, el reconocimiento de la existencia de clases de objetos de aprendizaje se hace de manera implícita –excepto en el caso de Doan et al. (Bennacer et al. 2004, Doan

| | Taxonomía explícita de clases de objetos de aprendizaje | Relaciones taxonómicas entre objetos de aprendizaje | Def. de restricciones de integridad sobre los objetos de aprendizaje | Anotación semi automática de los objetos de aprendizaje | Contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje | Otros elementos semánticos | Detalles de implementación |
|-----------------------|---|--|---|--|---|---|---|
| Brase et al. | No | Vocabulario con inclusión de relaciones inversas y propiedades | Dominio, rango | A través del uso de las relaciones <i>has part</i> , <i>has version</i> y <i>has format</i> | No | Ontología para la clasificación de contenido | RFD(S), TRIPLE, no disponible. Tiene asociado el desarrollo del editor SHAME. |
| Doan et al. | En función de la estructura y tipos de objetos de aprendizaje | Vocabulario extendido e inclusión de relaciones inversas y propiedades | Dominio, rango, cardinalidad, disjunción/esp (disjunción) | A través del uso de la relación <i>has part</i> | No | Ontologías para la clasificación de contenido y la organización curricular | OWL, no disponible |
| Gheghoub et al. | No | Vocabulario | Dominio, rango, cardinalidad, obligatoriedad | No | No | Ontología para palabras clave | OWL disponible |
| Sánchez-Alonso et al. | No | Vocabulario | Dominio, rango, cardinalidad | No | No | Ontología de conocimiento general, ontología de competencias y transformación de metadatos simples en agregados | OWL, disponible |
| Rodríguez et al. | Creaciones intelectuales y sus materializaciones y obras derivadas, estructura interna y nivel de agregación, características educativas extendida respecto a LOM | Taxonomía de relaciones (incluyendo inversas) que extiende las propuestas por LOM y sus propiedades. | Dominio, rango, cardinalidad, disjunción, clasificación de los objetos de aprendizaje, otras restricciones de integridad mediante reglas SWRL | A través del uso de relaciones (y relaciones subtipo) <i>has format</i> , <i>has translation</i> , <i>has version</i> , <i>materialization of</i> y <i>has part</i> combinado con reglas de derivación implementadas en SWRL | A través de registros de metadatos diferenciados (segregación de metadatos extrínsecos) | Alineación con OpenCyc | OWL, SWRL, disponible. Tiene asociado el desarrollo del editor LOManager. |

Tabla 6.5: Comparación de esquemas de representación basados en ontologías para la representación de objetos de aprendizaje

& Bourda 2006, Babu et al. 2007)– y su estudio se restringe, en general, al caso de objetos de aprendizaje compuestos. También es importante destacar que ninguno de los trabajos analizados –a excepción del trabajo de de Brase et al. (Brase et al. 2003, Brase & Painter 2004, Brase & Nejdí 2004, Brase 2005)– trata aspectos relativos a la representación de objetos de aprendizaje derivados o a la representación de objetos de aprendizaje que, teniendo el mismo contenido, tienen asociados diferentes formatos de representación final.

2. Representación de las relaciones entre objetos de aprendizaje, sus propiedades (entendidas éstas desde un punto de vista matemático) y su organización taxonómica, incluyendo también la representación de relaciones inversas. Las taxonomías de relaciones propuestas (de manera similar a las jerarquías de especialización de clases de objetos de aprendizaje) se extienden con relaciones extraídas de OpenCyc, definiéndose también las correspondencias pertinentes. Asimismo también se definen las relaciones que se establecen entre los objetos de aprendizaje en función de la clase (o clases) a las que éstos pertenecen. La definición de estas relaciones permite, por un lado, clarificar el significado (y por lo tanto, realizar una representación formal no ambigua) de ciertos metadatos que en LOM tienen una semántica imprecisa, haciendo explícita las relaciones que se establecen entre metadatos cuyos valores no son independientes entre sí. Por otro lado, la existencia de ciertas relaciones entre los objetos de aprendizaje, también permite establecer mecanismos para calcular de manera automática el valor de ciertos metadatos (por ejemplo, en el caso de objetos de aprendizaje derivados), garantizando una descripción consistente de los objetos de aprendizaje. Recuérdese que, por limitaciones técnicas, la mayoría de estos mecanismos que garantizan una descripción consistente de los objetos de aprendizaje se implementan en LOManager. En relación a los trabajos analizados, ninguno estructura las relaciones de forma taxonómica, ni tampoco (a excepción de Doan et al.) proponen extensiones. A pesar de ello, ciertos trabajos explotan la semántica de algunas relaciones para calcular el valor de ciertos metadatos. Entre dichos trabajos, el más relevante es el Brase et al. que calcula el valor para ciertos metadatos de objetos de aprendizaje que participan en las relaciones *has part*, *has version* y *has format*. Dichos cálculos se incluyen en el editor SHAME.
3. Representación de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. Ninguno de los trabajos analizados plantea un análisis de los metadatos de LOM,

en función de si éstos representan información de naturaleza intrínseca (o constante, con independencia del contexto de uso educativo) o extrínseca (es decir, información que varía en función del contexto de uso educativo). En consecuencia, tampoco plantean la posibilidad de representarlos, tal y como se propone en este trabajo de tesis, mediante registros de metadatos separados. A pesar de ello, es importante notar que los trabajos de Brase et al. y Sánchez-Alonso et al. (Sánchez-Alonso, Sicilia & Pareja 2007, Feroso-García et al. 2008) plantean la posibilidad de disponer descripciones de los objetos de aprendizaje (segregadas en diversos registros de metadatos) con diferente nivel de detalle.

Para finalizar este estudio, y como principal limitación de la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje efectuada en este trabajo de tesis en comparación a los trabajos analizados, se desea destacar que dicha representación, en su estado actual, no incorpora elementos semánticos que permitan enlazar el valor de los metadatos de la categoría 9. *Classification* con ontologías de dominio o de aplicación. Esto posibilitaría, por ejemplo, una clasificación más expresiva (desde un punto de vista semántico) del contenido de los objetos de aprendizaje que mejoraría las capacidades de búsqueda de los objetos de aprendizaje.

6.3. Escenarios de aplicación

En esta sección se evalúa la utilidad de la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje. Esta evaluación se orienta a la funcionalidad, y para ello se discuten diversos escenarios de aplicación donde la representación desarrollada en este trabajo de tesis puede ser de utilidad.

6.3.1. Aplicación en repositorios institucionales: el caso de la UOC

La representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje puede ser utilizada para la descripción de los objetos de aprendizaje que, para su difusión y preservación, se almacenan en repositorios institucionales. Dichos repositorios dan servicio a personas que pertenecen a una misma comunidad como sería el caso, por ejemplo, de los creados por universidades. La difusión incluye aspectos relacionados con la publicación, visibilidad, disponibilidad, búsqueda y reutilización de los objetos de

aprendizaje. En el caso de universidades se incluirían, entre otros, contenidos docentes y de investigación que abarcarían las diferentes disciplinas en las que la universidad desarrolla actividad. Por su parte, la preservación incluye aspectos relativos tanto a su almacenamiento permanente, como al control y auditoría de los objetos de aprendizaje.

En este sentido, es importante destacar que la representación efectuada ha tomado en consideración las necesidades específicas de la UOC. La UOC es una universidad en línea que ofrece formación en diferentes disciplinas y niveles educativos (entre otros, grado, máster y posgrado) en un entorno multilingüe. Uno de los elementos sobre el que se sustenta el modelo pedagógico de la universidad son los materiales didácticos (algunos de ellos son de elaboración institucional, mientras que otros son producidos de manera más informal a partir de la colaboración entre profesores y/o estudiantes como consecuencia de la actividad docente) los cuáles, además, pueden estar disponibles en diferentes idiomas y formatos de representación final (ya sea para adecuarse a distintos dispositivos o a las características de estudiantes con necesidades especiales). Dichos materiales didácticos se encuentran almacenados en el repositorio institucional de la universidad³ y constituyen objetos de aprendizaje.

La descripción detallada de los objetos de aprendizaje es determinante para permitir su localización y fomentar su reutilización, ya sea ésta total o parcial, o a través de su adaptación de acuerdo a la oferta formativa de la universidad y/o las necesidades de los estudiantes a los que se dirigen. En consecuencia, es necesario tener constancia de los objetos de aprendizaje desarrollados (creaciones intelectuales y sus posibles materializaciones), de si éstos han sido traducidos, cuál es la versión más reciente de un objeto de aprendizaje, así como de otras posibles adaptaciones que de dichos objetos de aprendizaje se hayan podido realizar. Asimismo también es necesario disponer, en el ámbito de la universidad, de información acerca de los contextos educativos en los que se han utilizado los objetos de aprendizaje.

La representación efectuada, en su estado actual, no incorpora ciertos tipos de recurso de aprendizaje (de acuerdo a características educativas) específicos de la UOC. A pesar de ello, su incorporación se podría acometer con facilidad a través de un perfil de aplicación que extendiese la jerarquía de especialización que, de acuerdo a característi-

³Repositorio institucional O2 de la UOC: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/>

cas educativas, trata aspectos instruccionales. Entre estos tipos de recursos específicos estarían diferentes tipos de exámenes (como sería el caso, por ejemplo, de pruebas de validación⁴) o módulos didácticos⁵.

Para finalizar, los repositorios institucionales –que tienen un propósito más general– pueden coexistir o incluir repositorios temáticos. Estos repositorios comparten, con los repositorios institucionales, los objetivos de garantizar la difusión y preservación los objetos de aprendizaje que almacenan, pero a diferencia de los institucionales, los objetos de aprendizaje almacenados pertenecen a un único ámbito de conocimiento y por lo tanto, potencialmente, se dirigen a una audiencia más reducida que comparte intereses de aprendizaje afines. Evidentemente, la representación efectuada también puede ser utilizada para acometer la descripción de los objetos de aprendizaje almacenados en repositorios temáticos. En este tipo de repositorios también puede ser interesante recoger diferentes tipos de anotaciones similares a las disponibles en redes sociales (por ejemplo, la posibilidad de añadir etiquetas, valoraciones, marcar un objeto de aprendizaje como favorito etc.). Este tipo de anotaciones podrían revertir en la descripción de los objetos de aprendizaje y se podrían incluir, de manera controlada, en los registros de metadatos (por ejemplo, extendiendo la categoría 8. *Annotation*), pudiendo ser un valor añadido en la gestión de los objetos de aprendizaje. Algunos tipos de anotación (póngase por caso, las valoraciones) podrían ser utilizadas para ordenar los resultados de búsqueda de los objetos de aprendizaje. Para que dicha información se pueda incorporar en los registros de metadatos, es necesario que los responsables del repositorio garanticen, al menos, su exactitud. A pesar de que la representación efectuada no permite la inclusión de información como la reseñada, en Minguillón, Rodríguez & Conesa (2010) y en Minguillón, Rodríguez & Conesa (2011) es posible encontrar trabajo preliminar en relación a cómo ésta se podría incluir y los beneficios que se obtendrían.

⁴Una prueba de validación es un examen de corta duración (1 hora) que genera una calificación de apto o no apto, que se aplica en ciertas asignaturas. Está destinada a estudiantes que han aprobado las pruebas o prácticas que durante el semestre se han determinado como obligatorias. Si la calificación de la prueba de validación es apto, la calificación final del estudiante se calcula en base a las calificaciones de las pruebas o prácticas realizadas durante el semestre. En caso contrario, el estudiante suspende la asignatura.

⁵Un módulo didáctico típicamente constituye una agregación de explicaciones, resumen, ejercicios de autoevaluación, glosario y bibliografía.

6.3.2. Validación de registros de metadatos publicados por diferentes instituciones

Diferentes instituciones pueden albergar registros de metadatos para un mismo objeto de aprendizaje. En este escenario, la representación efectuada puede ser utilizada para validar la descripción realizada de los objetos de aprendizaje, especialmente de aquellos metadatos de naturaleza extrínseca, los cuales estarían incluidos en registros de metadatos que recogen información independiente del contexto de uso de los objetos de aprendizaje. Entre estos metadatos se encontrarían, de acuerdo a lo presentado en el capítulo 4, los que pertenecen a las categorías 1. *General*, 2. *Life Cycle*, parte de los metadatos de la categoría 5. *Educational* (específicamente aquéllos que son *Educational Context Independent*), 6. *Rights*, 7. *Relation*, así como ciertas anotaciones y clasificaciones, es decir, algunas instancias de las categorías 8. *Annotation* y 9. *Classification*. En el caso concreto de las clasificaciones, serían aquéllas que tuviesen como propósitos de clasificación disciplina, idea y restricciones de acceso. Los metadatos de la categoría 3. *Meta-Metadata* quedarían excluidos de este proceso de validación, dado que éstos representan información referente al registro de metadatos (que habrá sido creado por diferentes instituciones), y en consecuencia, es perfectamente posible que los metadatos de dicha categoría contengan información no coincidente.

Para que la validación de los registros de metadatos sea factible es necesario, en primer lugar, poder identificar que dos registros de metadatos describen al mismo objeto de aprendizaje. En otras palabras, es necesario disponer de funciones que permitan determinar que dos objetos de aprendizaje son idénticos. Una manera de conseguir dicho propósito es utilizar el metadato 1.1 *Identifier* de la categoría 1. *General*. En segundo lugar, también sería necesario traducir la descripción contenida en los registros de metadatos a la representación desarrollada (esta funcionalidad, tal y como ya se ha comentado en la sección 6.1.2 no se ha implementado, aunque podría estar disponible en LOManager). Asumiendo que se ha identificado que dos registros de metadatos se refieren al mismo objeto de aprendizaje y que la descripción de ambos registros de metadatos se ha expresado en términos de la representación efectuada, la validación de los registros de metadatos consistiría, por un lado en garantizar la consistencia, y por otro, en complementar y mejorar la descripción realizada. Garantizar la consistencia de la descripción consistiría en localizar discrepancias en el valor de aquéllos metadatos que necesariamente deben tener un valor coincidente. Entre estos metadatos se pueden

citar, por ejemplo, título, idioma, estructura organizativa interna, contribuciones con rol autor, tamaño o duración del objeto de aprendizaje. Estas discrepancias pueden deberse a la comisión de errores en la introducción de la información, o a diferentes interpretaciones del significado asociado a los metadatos. Por su parte, complementar y mejorar la descripción incluiría un conjunto de acciones, entre las que se pueden citar:

- Cumplimentar el valor (o valores) de aquellos metadatos que, en uno de los dos registros de metadatos, no están informados.
- Armonizar el valor (o valores) de aquellos metadatos que están informados en ambos registros de metadatos. Esta armonización puede consistir en fusionar o elegir los valores más apropiados en base al análisis de los valores contenidos en los registros de metadatos (por ejemplo, las palabras clave que describen un objeto de aprendizaje, o los valores de metadatos que usan vocabularios que proceden de fuentes diferentes), en completar información parcial para alguno de los metadatos contenidos en uno de los registros de metadatos (por ejemplo, información incompleta relativa a los requisitos técnicos asociados al objeto de aprendizaje) y en añadir instancias de ciertas categoría de metadatos que pueden ser multivaluadas (por ejemplo, clasificaciones efectuadas que, ateniendo al mismo propósito, se realizan en base a sistemas de clasificación diferentes).

Para finalizar, es importante destacar que la validación descrita de los registros de metadatos, no se puede solventar de manera automática, sino que requiere de la apertura de un proceso de negociación entre los responsables de la creación y la validación de los registros de metadatos que permitan solucionar las incongruencias detectadas. En este sentido, la representación efectuada sería de utilidad para notificar la existencia de tales incongruencias.

6.3.3. Guías para la detección de contextos de uso educativo

En este trabajo de tesis se han detectado metadatos de naturaleza extrínseca, es decir, metadatos cuyo valor puede variar en función de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. Estos metadatos, tal y como se ha presentado en el capítulo 4, obedecen a tres supuestos distintos que surgen de responder a una serie de preguntas acerca del objeto de aprendizaje (dónde se usa, a quién se dirige, cómo se usa/qué se obtiene de su uso). A partir del análisis de las respuestas a estas

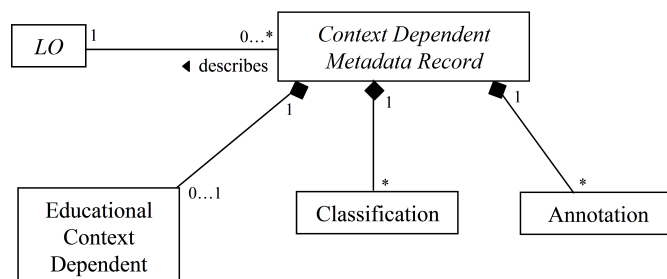


Figura 6.7: Caracterización contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje

tres preguntas, se ha determinado que la caracterización de los posibles contextos de uso educativo de cada objeto de aprendizaje se obtiene a través de agrupaciones específicas de metadatos de la categoría 5. *Educational* (concretamente aquéllos que son *Educational Context Dependent*), así como ciertas anotaciones y clasificaciones, esto es, algunas instancias de las categorías 8. *Annotation* y 9. *Classification* (como sería el caso, entre otras, de clasificaciones con propósito prerequisite, objetivo educativo o competencia). Cada agrupación específica de instancias de los metadatos previamente reseñados (en otras palabras, cada contexto educativo del objeto de aprendizaje) daría lugar a un registro de metadatos diferente, tal y como muestra la figura 6.7. Pueden existir instituciones que, para la descripción de los objetos de aprendizaje, únicamente utilicen un registro de metadatos y que, en consecuencia, no segreguen dicha información en registros de metadatos separados. A continuación se discute como el marco conceptual para los objetos de aprendizaje (y en consecuencia, la representación efectuada del mismo) puede ser utilizado para intentar generar de manera automática o semiautomática los posibles contextos de uso educativo de cada objeto de aprendizaje:

- En el caso de descripciones de nuevos objetos de aprendizaje, o en el caso de objetos de aprendizaje para los cuales, en su descripción, no se han consignado metadatos de naturaleza extrínseca, simplemente sería necesario, si es procedente, realizar la descripción de los mismos en registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo separados, asignando valor a dichos metadatos.
- En el caso de existir una descripción para un objeto de aprendizaje realizada en un único registro de metadatos, en la que únicamente se declara una instancia de la categoría 5. *Educational* (y un único valor para aquellos metadatos *Educational Context Dependent* que puedan ser multivaluados) y una o varias instancias de la categoría 9. *Classification* (en el supuesto que para cada posible propósito de clasificación que dependa del contexto de uso educativo, sólo exista

una instancia definida), se estaría en disposición de afirmar que posiblemente, en la descripción del objeto de aprendizaje, se ha definido un contexto de uso de educativo (de acuerdo a LOM, posiblemente su contexto de uso principal). La definición realizada de todos estos metadatos (asumiendo que se ha implementado un mecanismo de traducción a la representación desarrollada en este trabajo de tesis), y bajo confirmación del usuario, se podría segregar (de manera automática) en un registro de metadatos dependiente del contexto de uso para el objeto de aprendizaje. En el caso de existir anotaciones, dada su naturaleza textual, sería necesario intervención humana para detectar cuáles de dichas anotaciones contienen información relativa al contexto de uso educativo del objeto de aprendizaje.

- Finalmente, en el caso de existir una descripción para un objeto de aprendizaje que incluya, bien diversas instancias de la categoría 5. *Educational*, o bien una única instancia de esa misma categoría que incorpore multiples valores para aquellos metadatos *Educational Context Dependent* que puedan ser multivaluados, se estaría en disposición de afirmar (con ayuda del usuario) que, en la descripción del objeto de aprendizaje, posiblemente se están definiendo diversos contextos de uso educativo. La situación sería análoga en el caso que se especifiquen múltiples instancias de la categoría 9. *Classification* con propósitos de clasificación relevantes para la caracterización del contexto de uso educativo, y aún más en el supuesto de que, al menos, uno de esos propósitos de clasificación se esté repitiendo, con independencia de que el sistema clasificación utilizado sea o no el mismo (supóngase, por ejemplo, que se declaran para el objeto de aprendizaje dos clasificaciones con propósito objetivo educativo en base a un mismo sistema de clasificación o en base a dos sistemas de clasificación distintos). En cualquiera de estos casos, es imposible segregar de manera automática los diferentes contextos de uso educativo que se hayan podido definir y deberá ser el usuario quien indique como se agrupan, en cada contexto de uso educativo, las instancias definidas para los elementos previos. Para las instancias de la categoría 9. *Annotation* se deberá seguir también el mismo proceso.

6.3.4. Exposición de datos en *open linked data*

En la actualidad las búsquedas en repositorios distribuidos (como sería el caso de una federación de repositorios) basadas en los metadatos que describen los objetos de

aprendizaje utilizan dos tipos de estrategias. La primera de ellas resuelve la consulta formulada en una instalación central que recoge metadatos (los cuales se actualizan periódicamente) sobre los recursos almacenados en los diferentes repositorios. La segunda consiste en resolver la consulta (a través de su distribución) en los diferentes repositorios. Estas estrategias se limitan a la búsqueda de objetos de aprendizaje almacenados en el conjunto de repositorios que desean compartir su información, y en general, las capacidades de exploración y navegación a través de los mismos, se limitan a los objetos de aprendizaje recuperados.

A las estrategias previas, se ha añadido recientemente una tercera que consiste en utilizar el potencial de iniciativas como LinkedData (Bizer et al. 2009). Esta iniciativa busca interconectar la información de la Web de una manera que sea comprensible para programas especializados. La forma de conseguirlo consiste en la definición de un conjunto de ontologías –por lo general ligeras, de acuerdo a la clasificación de Lassila & McGuinness (2001)– expresadas en RDF, donde cada ontología describe la estructura de la información y los contenidos disponibles en un sitio Web. Estas ontologías, a su vez, están interrelacionadas entre sí, de tal manera que dichas interrelaciones posibilitan que los programas (y en consecuencia los usuarios) naveguen de un concepto a otros conceptos relacionados, ya sea dentro de un mismo dominio o entre dominios diferentes. Dado que cada repositorio es un sitio Web que ofrece como contenidos los objetos de aprendizaje que almacena (directa o indirectamente), la exposición por parte de los repositorios de los metadatos que describen los objetos de aprendizaje de acuerdo a *open linked data*, puede ser utilizada como mecanismo para la resolución de las consultas y para mejorar las capacidades de exploración y navegación, no únicamente en el ámbito de los objetos de aprendizaje recuperados, sino también a otros conceptos y recursos con los que éstos pudieran estar enlazados. Para maximizar el potencial de la propuesta, es necesario que los responsables de los repositorios consensúen la forma en que exponen los metadatos que describen los objetos de aprendizaje. En este sentido, la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje efectuada en este trabajo de tesis, podría ser utilizada por los repositorios para exponer los metadatos que describen los objetos de aprendizaje. Otra alternativa consistiría en establecer las correspondencias necesarias de acuerdo al trabajo contenido en el IEEE P1484.12.4⁶, dada la posibilidad de que éste se convierta finalmente en estándar. En

⁶IEEE P1484.12.4 Recommended Practice for Expressing IEEE Learning Object Meta- data Instances Using the Dublin Core Abstract Model: <http://standards.ieee.org/develop/project/1484.12.4.html>

dicho trabajo –resultado de la colaboración del DCMI y el WG12 del IEEE LTSC⁷– se ofrecen las recomendaciones para representar en RDF instancias estrictamente conformes a LOM en términos del modelo propuesto por Dublin Core, haciendo compatible (a través de un formato común) ambos esquemas de metadatos. Con independencia del caso, sería necesario acometer la exportación de la representación ontológica realizada en este trabajo de tesis a RDF y también su adaptación, añadiendo los enlaces RDF pertinentes a los conceptos de las ontologías que están interrelacionadas en LinkedData. Es importante destacar que, en contexto de Organic.Edunet (este repositorio temático dedicado a contenidos educativos de agricultura ecológica y agroecología ha sido descrito en el capítulo 2), se ha desarrollado un prototipo basado en estos principios (Sicilia et al. 2011).

⁷Joint DCMI/IEEE LTSC Taskforce: <http://dublincore.org/educationwiki/DCMIIEEELTSCTaskforce>

Capítulo 7

Conclusiones y líneas de trabajo futuro

Allá al fondo está la muerte, pero no tenga miedo. Sujete el reloj con una mano, tome con dos dedos la llave de la cuerda, remóntela suavemente. Ahora se abre otro plazo, los árboles despliegan sus hojas, las barcas corren regatas, el tiempo como un abanico se va llenando de sí mismo y de él brotan el aire, las brisas de la tierra, la sombra de una mujer, el perfume del pan.

“Instrucciones para dar cuerda al reloj”, **Julio Cortázar**

Una vez presentado el marco conceptual para los objetos de aprendizaje, la representación ontológica del mismo y su evaluación, en este capítulo se realiza una síntesis del trabajo realizado. Para ello se analiza el grado de consecución de los objetivos planteados en este trabajo de tesis, y de las aportaciones originales que de él se desprenden. A continuación se proporcionan las conclusiones que se han obtenido de este trabajo de tesis. Finalmente, se esbozan posibles líneas de trabajo futuro y se indica la relación de publicaciones realizadas.

7.1. Satisfacción de los objetivos propuestos

Tal y como se ha formulado en el capítulo 1, el objetivo general de este trabajo de tesis ha sido realizar una aportación significativa en el área de estándares de *e-learning*, a través de la definición de un modelo de conocimiento del dominio de los objetos de

aprendizaje que permite mejorar la expresividad semántica del esquema de representación originalmente propuesto por el estándar LOM, aplicando para ello técnicas de la ingeniería del software y de la inteligencia artificial. La finalidad de dicho modelo de conocimiento es mejorar las capacidades de los procesos relacionados con la gestión de los objetos de aprendizaje disponibles en repositorios, como sería el caso de la anotación (o descripción) consistente de los objetos de aprendizaje, la búsqueda, selección y reutilización de los mismos, así como la realización de tareas de control y auditoría sobre los objetos de aprendizaje.

Para alcanzar el objetivo general propuesto, se han planteado una serie de objetivos específicos. A continuación se detalla, para cada uno, el grado de consecución del mismo. Asimismo, si es el caso, también se indican las aportaciones que de dichos objetivos se derivan. Dichas aportaciones se presentarán de manera más detallada en la sección 7.2.

- O1. Revisar las limitaciones del esquema propuesto por el estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje y evaluar el impacto de estas limitaciones en los procesos de gestión de los mismos.

La consecución de este objetivo se ha alcanzado a través de la elaboración de un estudio crítico del estándar LOM (aportación A1). Dicho estudio se presenta, a un primer nivel de detalle, en el capítulo 3, y se amplía posteriormente en el capítulo 4. Para poder llevar a cabo dicho estudio ha sido necesario, previamente, estudiar el estado de la cuestión (véase el capítulo 2) en lo relativo, entre otros, a los objetos de aprendizaje.

- O2. Analizar y proponer soluciones orientadas a solventar las limitaciones encontradas en el estándar LOM y que permitan mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje.

Este objetivo ha sido alcanzado a través de la propuesta de un marco conceptual que recoge, explicita y extiende el esquema propuesto por el estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje (aportación A2), el cual ha sido descrito en el capítulo 4.

- O3. Evaluar y seleccionar las técnicas más apropiadas para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje.

La consecución de este objetivo se ha realizado a través del análisis de las diferentes alternativas tecnológicas para la representación de la descripción de los

objetos de aprendizaje basadas en esquemas de metadatos, el cual se ha llevado a cabo en los capítulos 2 y 3. Este análisis ha permitido concluir que para garantizar una descripción semánticamente significativa de los objetos de aprendizaje que, a su vez, pueda ser interpretada, intercambiada y compartida por los diferentes programas implicados en la gestión de los objetos de aprendizaje, la mejor opción es recurrir a una representación basada en ontologías.

- O4. Proponer un esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje.

La consecución de este objetivo se ha alcanzado a través del desarrollo de un esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, ajustado al marco conceptual propuesto (aportación A3). Dicho desarrollo se plasma en la creación de dos ontologías codificadas en OWL. La primera de estas ontologías, denominada ontología básica, se extiende y se refina en la segunda de las ontologías desarrolladas. Esta segunda ontología recibe el nombre de ontología extendida. Ambas ontologías han sido descritas en el capítulo 5, y también se ofrece información adicional sobre ellas en el apéndice B.

Es necesario resaltar que, tal y como se ha puesto de manifiesto en el capítulo 5, han existido dificultades técnicas que han impedido que las ontologías representen de manera completa el conocimiento formulado en el marco conceptual explicado en el capítulo 4. Para paliar dichas dificultades y facilitar la descripción de los objetos de aprendizaje, se ha llevado a cabo el desarrollo de un editor de objetos de aprendizaje (aportación A4). Dicho editor, denominado LOManager, se describe en el apéndice C.

- O5. Demostrar la validez de la representación efectuada y su utilidad en diferentes escenarios de aplicación.

Este objetivo ha sido alcanzado a partir de la evaluación, efectuada desde diferentes ámbitos, de la representación ontológica del marco conceptual para los objetos de aprendizaje desarrollada en este trabajo de tesis. El detalle de dicha evaluación se incluye en el capítulo 6. El primer ámbito ha sido la evaluación de la corrección, la cual ha permitido comprobar que la representación ontológica efectuada está bien descrita y que no presenta incoherencias en el conocimiento representado. Por su parte, el segundo ámbito ha consistido en la evaluación de la completitud, que ha permitido comprobar, a través del diseño de diferentes

casos de ejemplo, cómo la representación ontológica realizada permite gestionar registros de metadatos (y los objetos de aprendizaje que éstos describen) que incorporan estructuras semánticas adicionales a las propuestas del estándar LOM y por otros esquemas de representación basados en ontologías disponibles. Entre estas estructuras semánticas adicionales no presentes (o presentes a un nivel de definición incompleto) en otros esquemas de representación basados en ontologías se desean destacar: 1) la creación de diferentes taxonomías de clases de objetos de aprendizaje (y la clasificación automática de los mismos en las diferentes clases de interés); 2) la definición de las relaciones entre objetos de aprendizaje (y la derivación del valor de ciertos metadatos para los objetos de aprendizaje que participan en las relaciones); y 3) la representación de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje a través de la definición de registros de metadatos separados. Finalmente, el tercer ámbito ha sido la evaluación de la utilidad y ha consistido en la discusión de diversos escenarios de aplicación donde la representación desarrollada pudiera resultar de interés.

7.2. Aportaciones

La consecución de los objetivos presentados en la sección anterior ha permitido realizar una serie de aportaciones, las cuales se detallan a continuación:

- A1. Estudio crítico del estándar LOM. Dicho estudio enumera las limitaciones del estándar, entre las que se incluyen: semántica implícita, múltiples alternativas para la representación de información de naturaleza similar, definiciones imprecisas y omisiones.

En relación a trabajos previos, el estudio crítico del estándar LOM incluye como aspectos novedosos más destacables el análisis de las limitaciones de LOM con respecto a: 1) la definición explícita de diferentes clases de objetos de aprendizaje de interés y su organización taxonómica; 2) la definición de relaciones entre objetos de aprendizaje; y 3) la definición de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje.

- A2. Propuesta de un marco conceptual que recoge, explicita y extiende el esquema propuesto por el estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje, orientado a la resolución de las limitaciones detectadas en el estándar y a mejorar

las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje. Como aportaciones concretas del marco conceptual propuesto se incluyen:

- A2.1. Revisión del concepto de objeto de aprendizaje y propuesta de clases de objetos de aprendizaje que se organizan en taxonomías.
- A2.2. Determinación de las propiedades (metadatos, de acuerdo al estándar LOM) aplicables a los objetos de aprendizaje en función de las clases a las que éstos pertenecen, que da lugar a diferentes tipos de registros de metadatos.
- A2.3. Determinación de relaciones entre los objetos de aprendizaje, así como la organización taxonómica de las mismas.
- A2.4. Reutilización de conocimiento disponible en ontologías de conocimiento general. Este conocimiento ayuda a organizar las clases de objetos de aprendizaje y relaciones propuestas.
- A2.5. Representación de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje en registros de metadatos separados.
- A2.6. Definición de las condiciones que se deben cumplir para garantizar una descripción consistente de los objetos de aprendizaje.

Como aportaciones originales con respecto a otros trabajos relacionados se desea destacar, en primer lugar, que el marco conceptual propuesto es independiente a las tecnologías que permitirían su implementación. Esto garantiza la inmunidad y validez de las conclusiones alcanzadas ante posibles cambios tecnológicos. En segundo lugar, es importante destacar el nivel de profundidad alcanzado, el cual incluye todas las categorías propuestas por LOM. Finalmente, en tercer lugar, también se desea resaltar el método de trabajo seguido el cual, parcialmente, se apoya en el uso de ontologías de conocimiento general (específicamente OpenCyc). La relación de conceptos relevantes de OpenCyc, junto con sus definiciones, se presentan en el apéndice A.

- A3. Desarrollo de un esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, ajustado al marco conceptual propuesto que incluye la creación de dos ontologías codificadas en OWL denominadas, respectivamente, ontología básica y ontología extendida.

Entre las aportaciones de la ontología básica se destacan:

- A3.1. Representación de los conceptos definidos por el estándar LOM.
- A3.2. Disponibilidad de descripciones de los objetos de aprendizaje conformes al estándar LOM.
- A3.3. Representación de los diferentes contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje.

Por su parte, las aportaciones principales de la ontología extendida son las que se describen a continuación:

- A3.4. Inferencia de información sobre las clases de objetos de aprendizaje, las propiedades asociadas a éstas y las relaciones que se establecen entre las clases de objetos de aprendizaje.
- A3.5. Correspondencias con conceptos disponibles en ontologías de propósito general que puedan ser de interés en la descripción de los objetos de aprendizaje.

En relación a la ontología extendida, es necesario destacar que ésta, en su estado actual, no permite reutilizar conocimiento de OpenCyc, más allá del incluido en la codificación de la misma. En consecuencia, la alineación efectuada con OpenCyc (aportación A3.5) es de mínimos y se orienta a personas.

- A4. Desarrollo de un editor de objetos de aprendizaje. Dicho editor, denominado LOManager, solventa las dificultades técnicas surgidas en la creación de las ontologías. También facilita a los usuarios la descripción de los objetos de aprendizaje.

7.3. Conclusiones

El modelo de conocimiento del dominio de los objetos de aprendizaje desarrollado en este trabajo de tesis permite mejorar la expresividad semántica del esquema de representación originalmente propuesto por el estándar LOM. Dicho modelo de conocimiento se concreta en un esquema formal que incluye, por un lado, la creación de dos ontologías que garantizan que el modelo de conocimiento pueda ser interpretado, intercambiado y compartido por los diferentes agentes implicados en la gestión de los objetos de aprendizaje, y por otro, el desarrollo del editor LOManager.

Se han obtenido resultados relevantes que pueden ser utilizados, en primer lugar, para mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje, y en segundo lugar, para la reflexión de cara a una revisión de LOM.

7.3.1. Mejora en las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje

A continuación se discute cómo los resultados obtenidos pueden ser utilizados para mejorar las capacidades de los diferentes procesos de gestión de los objetos de aprendizaje. Entre estos procesos se incluyen la descripción consistente de los objetos de aprendizaje, la búsqueda, selección y examen de los mismos, su reutilización y las tareas de control y auditoría sobre los objetos de aprendizaje.

Descripción consistente de los objetos de aprendizaje

El marco conceptual propuesto para la descripción de los objetos de aprendizaje define un conjunto de restricciones de integridad que garantizan una descripción consistente de los objetos de aprendizaje, tal y como se ha discutido en el capítulo 4. Estas restricciones de integridad han sido implementadas de manera completa en LOManager, dando lugar a reglas de validación y reglas de derivación. Las reglas de validación avisan al usuario de los errores cometidos en el proceso de descripción de los objetos de aprendizaje. Por ejemplo, un posible error podría ser la creación de un objeto de aprendizaje concreción compuesto para el que falte la definición de alguno de los objetos concreción que lo conforman. Por su parte, las reglas de derivación permiten inferir el valor de ciertos metadatos a partir de otros metadatos. Ejemplos de metadatos cuyo valor siempre puede ser calculado, con independencia de la clase de objeto de aprendizaje bajo consideración, serían los metadatos 1.7 *Structure*, 1.8 *Aggregation level* o 5.1 *Interactivity type*. En el caso de objetos de aprendizaje relacionados, como serían objetos de aprendizaje derivados o compuestos, se añaden nuevos metadatos. A modo de ejemplo, para los objetos de aprendizaje derivados de tipo versión, algunos de estos metadatos añadidos serían 1.3 *Language*, 1.6 *Coverage*, 5.2 *Learning resource type*, 5.3 *Interactivity level*, 5.4 *Semantic density* y 5.11 *Language*. Asimismo, un objeto de aprendizaje versión, también incorpora alguna de las relaciones (por ejemplo, las relaciones *references* y *requires* y sus inversas) que define el objeto de aprendizaje al que versiona.

Tal y como se ha explicado en el capítulo 5, debido a dificultades técnicas, estos mecanismos de validación y derivación no han podido ser incorporados de manera completa en el esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje (ontologías básica y extendida). A pesar de ello, y dado que LO-Manager permite la exportación de la información introducida a la ontología básica, es posible afirmar que el esquema formal desarrollado verifica todas las restricciones de integridad definidas.

Finalmente, en la última sección del capítulo 6, también se ha discutido cómo el esquema formal puede ser utilizado para validar, completar y armonizar los registros de metadatos que, de un mismo objeto de aprendizaje, pueden haber sido publicados por diferentes instituciones, o como guía para la detección de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. En ambos casos, sería necesario disponer de una funcionalidad que permitiese traducir la descripción contenida en los registros de metadatos a la representación desarrollada.

Búsqueda, selección y examen de los objetos de aprendizaje

Las clases de objetos de aprendizaje y su organización taxonómica, así como las relaciones no taxonómicas entre los objetos de aprendizaje propuestas en el esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje (véanse los capítulos 4 y 5) pueden ser utilizadas para desambiguar, restringir o ampliar, dependiendo de las necesidades y de los resultados obtenidos, el espacio de búsqueda de los objetos de aprendizaje.

Con respecto a las clases de objetos de aprendizaje y su organización taxonómica, y a modo de ejemplo, la jerarquía de especialización de acuerdo a características educativas, a efectos de búsqueda, permitiría recuperar todos los objetos de aprendizaje de una determinada clase, incluyendo también los objetos de aprendizaje que perteneciesen a sus subclases. En caso de no obtenerse resultados, la consulta se podría transformar en otras consultas que buscasen resultados en sus superclases directas.

Por su parte, las relaciones que se hayan definido entre los objetos de aprendizaje pueden ser utilizadas para seleccionar de manera automática, por ejemplo, los objetos de aprendizaje que conforman un objeto de aprendizaje compuesto (a través del exa-

men de la relación *has part* y sus relaciones subtipo), la versión más reciente (siguiendo la cadena de relaciones *has version* definidas) o las posibles traducciones disponibles (para ello sería necesario analizar las relaciones *has translation*). Asimismo, otras relaciones definidas por los objetos de aprendizaje que conforman el resultado de búsquedas (por ejemplo, las relaciones *references*, *is based on*, o *requires*) pueden ser usadas para navegar hacia sus objetos de aprendizaje relacionados. Estas capacidades, tal y como se ha presentado en el capítulo 6, se pueden ver potenciadas de acuerdo a iniciativas como LinkedData.

Reutilización de los objetos de aprendizaje

El uso de las relaciones como las propuestas en el esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, tal y como se ha discutido en los capítulos 4 y 5 ayudan, por ejemplo, a determinar el origen de los objetos de aprendizaje (para ello es necesario analizar las relaciones subtipo de *source pattern for* definidas), a conocer cómo los objetos de aprendizaje compuestos están estructurados internamente (a través del examen de la relación *has part* y sus relaciones subtipo, y de la relación de orden *previous* o su inversa *next*), o saber qué objetos de aprendizaje adicionales es necesario considerar (análisis de las relaciones *requires* definidas) cuando se decide usar un objeto de aprendizaje. En el caso de las relaciones de orden que permiten saber cómo se estructuran internamente los objetos de aprendizaje compuestos, de acuerdo a la intención original de su autor, es importante destacar (véase el capítulo 5) que únicamente están disponibles en LOManager.

Los elementos previos facilitan la reutilización total o parcial de los objetos de aprendizaje (y de sus objetos de aprendizaje relacionados), por ejemplo, en base a su composición en nuevos objetos de aprendizaje de granularidad mayor, o través del desarrollo de objetos de aprendizaje derivados. Asimismo, la segregación de la información relativa a los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje en registros de metadatos separados, tal y como se ha argumentado en la última sección del capítulo 4, favorece su examen y la toma de decisiones acerca de la adecuación de los mismos en nuevos contextos de uso educativo.

Control y auditoría de los objetos de aprendizaje

El esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje desarrollado en este trabajo de tesis puede ser utilizado para facilitar el desarrollo de tareas de control y auditoría de los objetos de aprendizaje almacenados en los repositorios institucionales, como sería el caso de la UOC, tal y como se ha explicado en el capítulo 6.

Entre estas tareas se incluyen, por ejemplo, el control de la evolución de obras derivadas como sería el caso de versiones y traducciones, o el control de los diferentes formatos de representación final que, para unos mismos contenidos, existen disponibles. La realización de estas tareas, de nuevo, se basa en el examen de las relaciones que se definen entre los objetos de aprendizaje. Por ejemplo, el control de los diferentes formatos de representación final disponibles para cada objeto de aprendizaje se puede realizar a través del examen de las relaciones *is materialized by* que se establecen entre un objeto de aprendizaje conceptual y cada una de sus materializaciones. De manera análoga, el examen de las relaciones *has format* definidas permite controlar qué objetos de aprendizaje concreción han sido creados a partir de otros, como consecuencia de aplicar técnicas de reproducción o reformato.

Para finalizar, el esquema formal desarrollado también facilita, desde LOManager, la eliminación controlada de objetos de aprendizaje, la cual también se podría extender a objetos de aprendizaje relacionados. Por ejemplo, el borrado de un objeto de aprendizaje conceptual implica la eliminación de sus objetos de aprendizaje materialización asociados, pero éste únicamente será posible en el caso que el objeto de aprendizaje conceptual que se desea eliminar no esté relacionado con otros.

7.3.2. Revisión del estándar LOM

Con respecto a la revisión del estándar LOM, los resultados obtenidos permitirían:

- Transformar la representación sintáctica de los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje a una representación semántica. En el caso de registros de metadatos preexistentes, en el capítulo 6, se ha esbozado cómo se podría acometer dicho proceso de migración. También se han puesto de manifies-

to las dificultades que presenta la segregación de la información que depende de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje.

- Mejorar la definición de los metadatos. Entre otros, esto ayudaría a: 1) fijar el significado de ciertos metadatos que actualmente adolecen de una definición ambigua; 2) hacer explícita la semántica que se encuentra oculta en ciertos metadatos (por ejemplo, metadatos que representan diversos conceptos del mundo real y en metadatos multivaluados); 3) hacer explícitas las relaciones que existen entre metadatos; y 4) elegir la mejor alternativa de representación de información de naturaleza similar. Estas mejoras se podrían conseguir a través del seguimiento y aplicación, respectivamente, de métodos y técnicas como las disponibles en ingeniería del software, y permitirían especificar un modelo conceptual para el estándar LOM no sujeto a interpretaciones e independiente de las tecnologías que permitirían su implementación.
- Acometer la reorganización de las categorías. Esta situación se relaciona con la representación de los contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje. En este trabajo de tesis se ha propuesto el desdoblamiento de la categoría 5. *Educational* en dos categorías, una que incluiría aquellos metadatos que representan información que es independiente de los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje, y otra que contendría aquellos metadatos que representan información que puede variar en función de los contextos de uso de los objetos de aprendizaje. La reorganización de las categorías (y de los metadatos que éstas incorporan), en función del tipo de información que representan, se puede conseguir a través de la definición de registros de metadatos separados.
- Realizar extensiones de las categorías. A modo ejemplo, en este trabajo de tesis se ha discutido, desde un punto de vista conceptual, la posibilidad de incorporar relaciones ternarias en el esquema originalmente propuesto por LOM con el objetivo de representar información relativa a la estructuración interna de los objetos de aprendizaje compuestos. Asimismo también se ha mencionado la posibilidad de realizar extensiones en las categorías 6. *Rights* y 8. *Annotation*. Estas extensiones se podrían acometer por medio de perfiles de aplicación.
- Desaconsejar el uso de ciertos metadatos (o si se prefiere, tomar decisiones sobre su no continuidad), especialmente de aquéllos que representan información susceptible de ser tratada en otras especificaciones, y que se relacionan con el uso de

los objetos de aprendizaje en el contexto de una determinada experiencia educativa. La situación descrita, de nuevo, afecta a la representación de la información relativa a la estructuración interna de los objetos de aprendizaje compuestos.

- Incorporar elementos de metamodelo. Las categorías de LOM (a excepción de la categoría 3. *Meta-Metadata*) se orientan a describir instancias de objetos de aprendizaje. Como elemento de metamodelo, en este trabajo de tesis se ha añadido en concepto de clase de objeto de aprendizaje el cual ha sido utilizado, entre otros, como elemento para la estructuración de los registros de metadatos. Esto ha posibilitado la creación de registros de metadatos diferenciados, y ha contribuido a reflexionar sobre la aplicabilidad de los metadatos en función de la clase (o clases) a las que pertenece cada objeto de aprendizaje.

7.4. Líneas de trabajo futuro

Tanto a lo largo del desarrollo de este trabajo de tesis, como a su finalización, se han observado posibles líneas de trabajo futuro. Éstas incluyen, por un lado, extensiones al trabajo realizado, y por otro, perspectivas de trabajo que se relacionan con la aplicación práctica del mismo.

Entre las posibles extensiones al marco conceptual propuesto para la descripción de los objetos de aprendizaje, y en consecuencia, del esquema formal desarrollado (ontologías básica y extendida) y del editor LOManager, se desean destacar las siguientes:

- Incorporación de aspectos relativos a la gestión de los derechos digitales de los objetos de aprendizaje y posibles licencias de uso. Dicha incorporación implicaría extensiones en la categoría 6. *Rights* originalmente propuesta por LOM. Esta extensión permitiría, entre otros, el control en el proceso de creación de obras derivadas, de tal manera que se garantizaría que el desarrollo de obras derivadas (si éste es posible) se ajustase a las condiciones especificadas en los objetos de aprendizaje de partida. En este sentido, es importante recordar que el trabajo desarrollado, en su estado actual, delega todas estas cuestiones en los usuarios de los objetos de aprendizaje.
- Adición de diferentes tipos de anotaciones, como sería el caso de anotaciones similares a las disponibles en redes sociales. Esta adición podría implicar cambios

en la categoría 8. *Annotation* propuesta por LOM. El análisis de dichas anotaciones permitiría que éstas pudiesen ser utilizadas en la gestión de los objetos de aprendizaje. Por ejemplo se podrían usar, de manera controlada, para completar y mejorar la descripción de los registros de metadatos, para ordenar los resultados de las búsquedas, o para evaluar la adecuación de los objetos de aprendizaje en diferentes contextos de uso educativo. Éste último punto es especialmente relevante y permitiría, de acuerdo a Mohammed & Mohan (2007), la representación del contexto histórico (o estadístico) de los objetos de aprendizaje, es decir, la definición de los patrones sociales que derivan del uso de los mismos. A pesar de que el trabajo desarrollado no permite la inclusión de información como la reseñada, en las publicaciones que se detallan a continuación es posible encontrar trabajo preliminar a este respecto:

- Minguillón, J., Rodríguez, M. E. & Conesa, J. (2010), Extending learning objects by means of social networking, in X. Luo, M. Spaniol, L. Wang, Q. Li, W. Nejdl & W. Zhang, eds, ‘Proceedings of 9th International Conference on Advances in Web-Based Learning (ICWL 2010)’, Vol. 6483 of Lecture Notes in Computer Science, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 220-229.
 - Minguillón, J., Rodríguez, M. E. & Conesa, J. (2011), Improving searching and browsing capabilities of learning object repositories, in D. Pérez-Martín, M. Kravcik & O. C. Santos, eds, ‘International Workshop on Personalization Approaches in Learning Environments (PALE 2011)’, Vol. 732, CEUR-WS, pp. 30-35.
- Completar el proceso de alineación con OpenCyc, para que el conocimiento disponible en dicha ontología de conocimiento general pudiera ser utilizado en la gestión de los objetos de aprendizaje. La ontología extendida, en su estado actual, no permite reutilizar conocimiento de OpenCyc, más allá del incluido en la codificación de la misma.

Por su parte, algunas de las líneas de trabajo relacionadas con la aplicación práctica del trabajo realizado, serían las que se indican a continuación:

- Desarrollo, en el contexto de LOManager, de una funcionalidad que permita la traducción de registros de metadatos disponibles en XML al esquema formal que, para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, se

ha desarrollado. Esta funcionalidad permitiría validar y enriquecer (por ejemplo, detectando los posibles contextos de uso educativo de los objetos de aprendizaje) los registros de metadatos publicados en repositorios.

- Implementación en LOManager de funcionalidades que permitan la consulta del esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje (ontología extendida). LOManager, en su estado actual, básicamente realiza búsquedas basadas en cadenas de caracteres sobre la base de datos que almacena los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje. Disponer de funcionalidades de este tipo, haría que LOManager se aproximara a un repositorio semántico que, además, se ajustaría a las necesidades de la UOC.
- Evaluar cómo el esquema formal para la representación del conocimiento relativo a los objetos de aprendizaje, específicamente la ontología extendida, puede ser utilizada como mecanismo para exponer los registros de metadatos que describen los objetos de aprendizaje en *open linked data*, con el objetivo de mejorar las capacidades de búsqueda, selección y examen de los objetos de aprendizaje disponibles en múltiples repositorios. Al final del capítulo 6 se han apuntado posibles líneas de actuación a este respecto.

7.5. Publicaciones derivadas de la investigación

Durante el proceso de elaboración de este trabajo de tesis se han realizado diferentes publicaciones, en congresos de ámbito nacional e internacional. y en revista. Dichas publicaciones se relacionan principalmente con el desarrollo del marco conceptual para la descripción de los objetos de aprendizaje. En concreto, éstas son:

- Sicilia, M. A., García-Barriocanal, E., Sánchez-Alonso, S. & Rodríguez, M. E. (2004), Describing learning object types in ontological structures: towards specialized pedagogical selection, in ‘Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications (ED-MEDIA 2004)’, Chesapeake VA, USA: AACE, pp. 2093-2097.
- Sicilia, M. A., García-Barriocanal, E., Sánchez-Alonso, S. & Rodríguez, M. E. (2004), On Integrating Learning Object Metadata inside the OpenCyc Knowledge Base, in Kinshuk, C. K. Looi, E. Sutinen, D. G. Sampson, I. Aedo, L. Uden & E.

Kähkönen, eds, 'Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2004)', IEEE Computer Society Press, pp. 900-901.

- Sicilia, M. A., Lytras, M., Rodríguez, M. E. & García-Barriocanal, E. (2006), 'Integrating descriptions of knowledge management learning activities into large ontological structures: a case study', *Data & Knowledge Engineering* 57(2), 408-417.
- Rodríguez, M. E., Conesa, J., García-Barriocanal, E. & Sicilia, M. A. (2008), Conceptual interpretation of LOM and its mapping to common sense ontologies, in S. Auer, S. Schaffert & T. Pellegrini, eds, 'Proceedings of the International Conference on Semantics Systems (I-SEMANTICS'08)', pp. 126-133.
- Rodríguez, M. E., Conesa, J. & Sicilia, M. A. (2009), Clarifying the semantics of relationships between learning objects, in F. Sartori, M. A. Sicilia & N. Manouselis, eds, 'Metadata and Semantic Research. Third International Conference MTSR 2009', Vol. 46 of Communications in Computer and Information Science, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 35-47.
- Rodríguez, M. E., Conesa, J. & Sicilia, M. A. (2010), Clases de objetos para el aprendizaje y su representación en registros de metadatos especializados, in M. E. Prieto, J. M. Dodero & D. O. Villegas, eds, 'Recursos digitales para la educación y la cultura. Volumen SPDECE', Universidad de Cádiz, pp. 95-102.

Apéndice A

Definiciones de OpenCyc

En este apéndice se recogen las definiciones de aquellos conceptos de OpenCyc relevantes para este trabajo de tesis. Entre dichos conceptos se incluyen clases y relaciones que, en terminología de OpenCyc, reciben el nombre de colecciones y predicados. Para facilitar su localización, se han organizado alfabéticamente en dos secciones separadas.

A.1. Clases

AcademicTest

A collection of propositional conceptual works (i.e. works that contain information which has a truth value in some context) whose instances are usually a set of questions designed to test a student's understanding of a certain subject. A kind of **ConceptualWork**.

AdministrativeUnit

A sub-collection of **Organization** (i.e. a group whose group-members are intelligent agents; certain relationships and obligations exist between the members of the organization, or between the organization and its members). An instance of **AdministrativeUnit** is a unit with administrative responsibilities.

Basis

The collection of all bases. A type of **Explanation**.

Benchmark

A specialization of **Specification**. Each instance of **Benchmark** is a specification that is used as a standard against which other things are compared.

Bibliography

Each instance of **Bibliography** sets forth references to other works for a particular purpose (e.g., surveying a particular discipline or collecting all of the works of a particular author). An instance of **Bibliography** may be a stand-alone work or may be a sub-works of some larger work (such as an article or book). A type of **ReferenceWork**.

ComputerModel

This is the collection of models or simulations of objects or phenomena created by computer programs. A type of **ConceptualWork**.

ConceptualWork

Each instance of **ConceptualWork** is a partially abstract work (in the sense that each instance has a beginning in time, but lacks a location in space) which either has an associated an abstract information structure or has a version with an associated abstract information structure. Conceptual works or versions of conceptual works can be instantiated in instances of **InformationBearingThing**.

Explanation

A collection of individual propositional conceptual works (i.e. works that contain information which has a truth value in some context), each of which gives an explanation of something. Note that individual explanations and the things which they explain may be related by using membership in collections. A type of **ConceptualWork**.

GeographicalRegion

Each instance of **GeographicalRegion** is a tangible spatial region that includes some piece of the surface of a planet (usually the planet Earth), and may be represented on a map of the planet. This includes purely topographical regions like mountains and underwater spaces, places defined by demographics (e.g. language areas) and territory otherwise demarcated (e.g. a region within which standard time is uniform). In

geopolitical contexts instances of geopolitical entities (like governing bodies) are also considered to be instances of **GeographicalRegion**.

Glossary

This is the collection of glossaries. A glossary is a kind of mini-dictionary, generally listing vocabulary relevant to a particular field, or vocabulary used in a particle text, together with definitions of these terms. A type of **ReferenceWork**.

Guidelines

The collection of all guidelines. A type of **Instructions**.

HumanLanguage

A specialization of **Language**. Each instance of this collection is a language that is used by human communities for communication. This collection differs from **NaturalLanguage** in that a **HumanLanguage** may be purposefully created, while **NaturalLanguages** evolve without a purposeful creation process. Instances of **HumanLanguage** thus include not only many **NaturalLanguages**, but also made-up languages like Esperanto and many (non-natural) sign languages.

Indication

A sub-collection of **Explanation**. Each instance of **Indication** is a something that serves to indicate or suggest.

InformationBearingThing

A collection of spatially-localized individuals, including various actions and events as well as physical objects. Each instance of **InformationBearingThing** is an item that contains information (for an agent who knows how to interpret it).

Instructions

Each instance of **Instructions** is a propositional conceptual work (i.e. a work that contains information which has a truth value in some context) that outlines a sequence of tasks to be performed by an agent. A type of **Specification**.

Language

A type of communication convention. Each instance of this collection is a generative system of signs for transmitting information. These signs are normally conventional and arbitrary in nature. The reality of any given language consists in its being interpretable by some community (usually human). Languages are most often spoken, but not always (e.g. sign languages). It is also worth noting that not every system of signs is a language; a certain richness of possible expression is required.

Lecture-CW

The collection of lectures, considered abstractly as conceptual works. The performances of their instances (also instances of **InformationBearingThing**) often involve much more than a simple expression of propositions, e.g., simple experiments. The contained information has a truth value in some context. A type of **ConceptualWork**.

Proof

The collection of all proofs. A type of **Explanation**.

Question-PCW

Each instance of **Question-PCW** is a propositional conceptual work (i.e. a work that contains information which has a truth value in some context) that expresses a request for information. A type of **ConceptualWork**.

ReferenceWork

Each instance of **ReferenceWork** is a conceptual work providing a more or less non-speculative, fact-oriented, comprehensive description of some knowledge domain. A type of **ConceptualWork**.

RelationalStructure

Each instance of **RelationalStructure** is a structure that is a composite individual consisting of (i) a base set (i.e. the domain from which the individual elements of the structure are drawn) and (ii) one or more relations or operations on that set. Note that a relational structure is not the same as its base set, since a pure set or collection necessarily lacks the associated structure.

SoftwareObject

The most general collection of software. Each instance of **SoftwareObject** is either a specific computer program, a computer program module, a software package, a software library file, or a version or series thereof. A type of **ConceptualWork**.

Specification

Each instance of **Specification** is a propositional conceptual work (i.e. a work that contains information which has a truth value in some context) that constitutes a description of the properties of a situation or something existing, and sometimes even entire collections of such things. Things are made, bought, and searched for according to specifications, which can be instantiated as printed instructions or as diagrams. Such instantiations are instances of **InformationBearingThing**. This collection is modally neutral with regard to the descriptive character of its instances. Thus, it includes descriptions of how things are, were, should be, must be, etc. A type of **ConceptualWork**.

Summary-CW

Each instance of **Summary-CW** is a less detailed, shorter precis of some other propositional conceptual work (i.e. a work that contains information which has a truth value in some context). A type of **ConceptualWork**.

Thesaurus

The collection of all the thesauruses: they contain information about the antonyms, homonyms, synonyms, of a (usually large) set of words. Usually they describe other relationships between words as well. A type of **ReferenceWork**.

Thing

The universal collection, i.e. the collection which, by definition, contains everything there is. Every thing in the Cyc ontology is an instance of **Thing**.

TimeInterval

Each instance of **TimeInterval** is an intangible temporal thing that is characterized by its temporal extent. Specializations of **TimeInterval** include, for example, **CalendarYear**

(the collection of instances that represent a year in some particular calendar) and `CalendarMonth` (the collection of instances that represent a month in some calendar).

`Tutorial`

A type of `Instructions`. `Tutorials` about X are generally aimed at people who have never used X before, and provide an introduction about the basic kinds of things X can do. They do not usually provide information about more complicated abilities or features of X . The word `tutorial` is often used for tutorials of computer programs.

`VersionedSoftwareObject`

Each instance of `VersionedSoftwareObject` is a computer program, software package or library that is versioned. A type of `SoftwareObject`.

A.2. Relaciones

`containsInformation`

`containsInformation(C,I)` means that I (an information store that has no spatial location as it would be the case of instances of `ConceptualWork`) is part of the information content of C , i.e. a tangible or intangible, concrete or abstract repository of information as it would be the case of instances of `ConceptualWork` or `InformationBearingThing`.

`containsInformationAbout`

`containsInformationAbout(C,T)` relates a given information store C (i.e. a tangible or intangible, concrete or abstract repository of information as it would be the case of instances of `ConceptualWork` or `InformationBearingThing`) to the thing T (instances of `Thing`) it contains information about. This is a very general notion of aboutness, which does not require that T be explicitly referred to in C .

`derivedConceptualWork`

`derivedConceptualWork(O,D)` means that D is a new abstract work that has been adapted or derived from O , but some part of O has been omitted. Instances of `ConceptualWork` can participate in this predicate.

derivedLiteraryWork

derivedLiteraryWork(W,D) means that the literary work D is derived from the literary work W. Instances of **ConceptualWork** that are also works of literature (articles, essays, as well as novels and poems) can participate in the predicate.

draftOfTextualWork

draftOfTextualWork(D,W) means that D is an earlier draft of W. A working draft typically undergoes numerous changes, or revisions, before a finished work is produced and perhaps published. Thus the boundary between a working draft and the finished product is quite fuzzy. In some cases it is difficult or impossible to say, even in hindsight, whether a work that existed at some earlier time constitutes (or constituted) a different work than a particular later work we know today, or was instead simply that latter work itself at a less-than-ultimate stage in its evolution. Instances of **ConceptualWork** that are also works whose propositional content is expressed, at least in substantial part in text, can participate in the predicate.

groupMembers

groupMembers(G,M) relates a group G to its individual members M. G is a composite object made up of one or more individual objects or events. M are things that have temporal extent or location (e.g., instances of **ConceptualWork** and **InformationBearingThing**). G also has a temporal extent or location.

instantiationOfWork

instantiationOfWork(I,C) means that I is an instantiation of C. Roughly, this is the relation that holds between any concrete object I and any abstract work C embodied in I. This predicate can relate instances of **InformationBearingThing** with their related instances of **ConceptualWork**.

intangibleParts

intangibleParts(W,P) means that P (e.g. an instance of **ConceptualWork**) is one of the intangible parts of a partially intangible W (e.g. an instance of **InformationBearingThing**).

laterProgramVersions

laterProgramVersions(O,N) means that N is a later version of O. The later version is assumed to be backwards compatible with all previous versions. Predicate participants can be instances of **VersionedSoftwareObject**.

objectOfCritique

objectOfCritique(C,T) means that T (an instance of **Thing**) is evaluated or critiqued in C (an instance of **ConceptualWork** that contains critiques).

occursBeforeInOrdering

occursBeforeInOrdering(S,T1,T2) states that in S (for example, an instance of a **Relational-Structure**) T1 (any instance of **Thing**) is prior in ordering to T2 (any instance of **Thing**).

parts

parts(W,P) means that P is in some sense a part of W. This predicate relates individuals to their (individual) parts, where this is understood in a very broad sense that includes spatial parts, temporal parts, conceptual parts, members of groups, and so forth. Any individual (things that are not set or collections) can participate in the predicate.

properParts

properParts(W,P) This predicate relates individuals W to other individuals which are their proper parts P (i.e., parts that are different from the whole). Any individual (things that are not set or collections) can participate in the predicate.

properSubSystems

properSubSystems(W,P). A specialization of **subSystems** and **properParts**. This predicate means that P is a system that is part of the larger system, W, can stand by itself, i.e. have independent existence from W and still be more or less the same. Predicate participants are tangible and intangible temporal things.

`propositionalInfoAbout`

`propositionalInfoAbout(C,T)` relates an information store `C` (something that stores information and have no spatial location as it would be the case of instances of `ConceptualWork`) to the things `T` they are about. It means that `C` is or contains propositional information about `T`. In order for `C` to contain propositional information about `T` it is not sufficient that `C` merely involve general information about the elements to which `T` belongs, but must involve some way of singling-out `T`, e.g. by mentioning `T` by name or containing a description that uniquely applies to `T`.

`requires-Underspecified`

`requires-Underspecified(T,R)` means that there is some sense in which `T` requires, needs, depends on `R`. Predicate participants are instances of **Thing**.

`sourcePatternFor`

`sourcePatternFor(T1,T2)` means that `T1` is the source pattern for the structure, arrangement or shape of `T2`. This applies to physical pattern sources as well as abstract patterns that are copied or transformed or that affect the configuration of something else. `T2` need not be a direct copy; it can be an indirect copy (a copy of a derivative of the original), a complementary copy, or an approximate or partial derivative of the original pattern. But it needs that some basic structure of the original pattern should be preserved. Any individual (every thing that is not set or collections) can participate in the predicate.

`sourcePatternFor-Direct`

`sourcePatternFor-Direct(T1,T2)` means that `T1` is the direct source pattern for the structure, arrangement or shape of `T2` in a single stage without intermediate patterns. `T2` must be a direct copy or derivative; it cannot be an indirect copy (a derivative of a derivative of the original). It can be a complementary copy, or an approximate or partial derivative of the original pattern. But it needs more than just causal influence: some basic structure of the original pattern should be preserved. Any individual (things that are not set or collections) can participate in the predicate.

sourcePatternFor-Indirect

sourcePatternFor-Indirect(T1,T2) means that T1 is indirectly the source pattern for the structure, arrangement or shape of T2, only through some intermediate patterned things. T2 is thus a derivative of a derivative of the original, including indirect complementary copies, or an approximate or partial derivative of another derived pattern. But it needs more than just causal influence: some basic structure of the original pattern should be preserved, despite the stages. Any individual (things that are not set or collections) can participate in the predicate.

subAlgorithms

subAlgorithms(A,S) means that A contains S as a part. That is, the sequence of operations that constitutes S is a subsequence of that which constitutes A. S is essential to A in that, if the former were replaced in the latter with a distinct algorithm, the result would be distinct from A. A and S are instances of **Algorithm**.

subInformation

subInformation(I,S) means that S is somehow contained within I. Both I and S are information stores. **InformationStores** have no spatial location as it would be the case of instances of **ConceptualWork**.

subSystems

subSystems(W,P) means that P is a part of W that can stand by themselves, i.e. have independent existence and still be more or less the same. What qualifies as a subsystem of a larger system is often context dependent. Instances of **ConceptualWork** can participate in the predicate.

subWorks

subWorks(W,P) means that P is a conceptual work that is somehow included in the larger conceptual work W. Participants in this predicate are instances of **ConceptualWork**.

thingDescribed

thingDescribed(C,T) means that **T** (an instance of **Thing**) is described in **P**. **P** is an abstract work constituted at least in part by information which has a truth value in some context as it would be the case of **ConceptualWork**.

translationOfPCW

translationOfPCW(O,T) means that **T** is a translation of **O**. Instances of **ConceptualWork** that are also propositional conceptual works (i.e. works that contain information which has a truth value in some context) whose propositional content is expressed, at least in substantial part, in text can participate in the predicate. The translation **T** do not need to be a direct translation of a single **O**, but is created by referencing copies of multiple textually specific versions of **O**, perhaps in multiple languages.

Apéndice B

Ontologías para la representación del marco conceptual para los objetos de aprendizaje

En este apéndice se recoge información relativa a las ontologías desarrolladas en el ámbito este trabajo de tesis, y que han sido examinadas en el capítulo 5. Dichas ontologías permiten la representación del marco conceptual que para los objetos de aprendizaje se ha propuesto en el capítulo 4.

En la dirección <http://personal.uoc.edu/personalonto/ontologies> se pueden descargar las ontologías. Además, en dicha dirección, también se pueden obtener tres instanciaciones de la ontología básica. Estas instanciaciones se corresponden con los casos de estudio desarrollados (los cuales reciben, respectivamente, los nombres de caso de estudio A, B y C) con el objetivo de evaluar la completitud de la representación ontológica realizada, la cual ha sido discutida en el capítulo 6. A través de la importación de estas instanciaciones de la ontología básica en la extendida, y mediante el uso de razonador es posible verificar, entre otros, cómo se infiere la clasificación de los objetos de aprendizaje en las diferentes clases de interés y la definición de relaciones entre instancias de objetos de aprendizaje. Las figuras B.1 y B.2 muestran las relaciones (definidas por el usuario desde LOManager o inferidas) que existen entre los objetos de aprendizaje que conforman los diferentes grupos, con el objetivo de facilitar su examen.

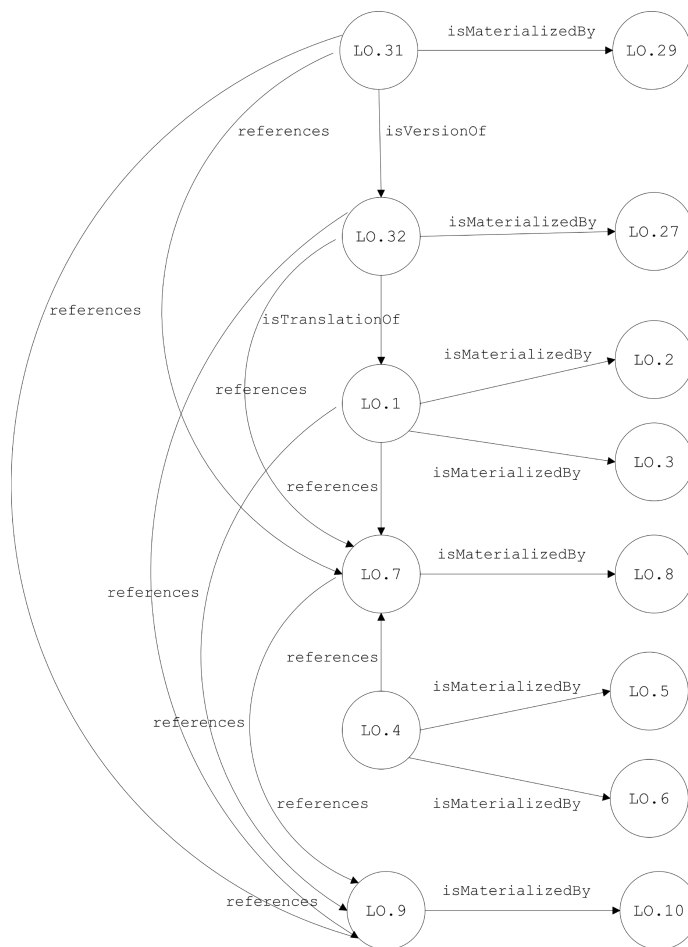


Figura B.1: Caso de estudio A

De manera más específica:

- El caso de estudio A (véase la figura B.1) contiene 14 objetos de aprendizaje (6 de ellos son conceptuales y 8 son materializaciones), de diversos tipos atendiendo a características educativas. También incluye objetos de aprendizaje derivados (en concreto, un objeto de aprendizaje traducción y uno versión). Finalmente, existen objetos de aprendizaje que definen registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo (estos objetos de aprendizaje son el conceptual LO.1 y sus materializaciones LO.2 y LO.3).
- El caso de estudio B (mostrado en la parte superior de la figura B.2) incluye 8 objetos de aprendizaje (4 conceptuales y sus correspondientes 4 materializaciones), de tipo examen y enunciado de problema. También define un objeto de aprendizaje compuesto (el LO.22 y su objeto de aprendizaje materialización asociado

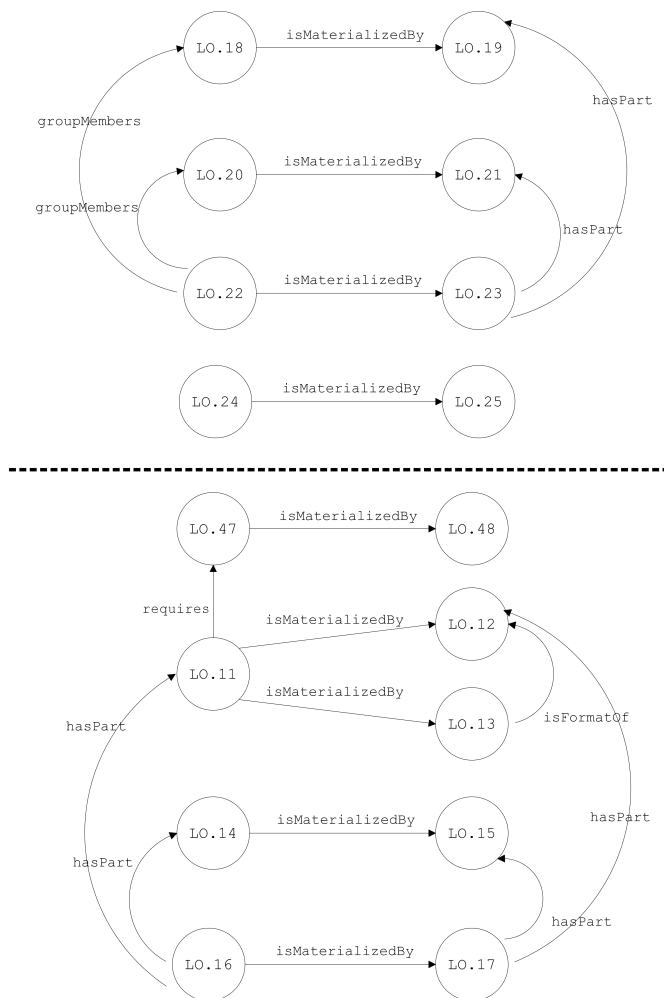


Figura B.2: Casos de estudio B y C

L0.23). Se trata de una colección homogénea de elementos del mismo tipo (específicamente exámenes). Para indicar los exámenes incluidos en la colección se ha usado la relación **groupMembers**. Finalmente, el objeto de aprendizaje conceptual L0.24 (y su materialización L0.25) definen registros de metadatos dependientes del contexto de uso educativo.

- El caso de estudio C (véase la parte inferior de la figura B.2) incorpora 9 objetos de aprendizaje (4 conceptuales y 5 materializaciones). Uno de los objetos de aprendizaje materialización (el L0.13) se obtiene como consecuencia de aplicar un proceso de reformato a partir del objeto de aprendizaje concreción L0.12. Se definen objetos de aprendizaje compuestos (el objeto de aprendizaje conceptual L0.16 y su concreción L0.17), en este caso de tipo lineal. Los objetos de apren-

dizaje compuestos son, desde un punto de vista educativo, de tipo ejercicio de autoevaluación e incluyen como objetos de aprendizaje parte un enunciado de problema (L0.11) y su solución (L0.14), la cual es de naturaleza software.

Apéndice C

Editor LOManager

En este apéndice se ofrece una breve descripción del editor LOManager. Éste se encuentra disponible en línea en la dirección <http://albuquerque.uoc.edu/LOManager/> y tiene almacenados los casos de ejemplo descritos en el capítulo 6.

C.1. Análisis

El objetivo principal consiste en desarrollar una aplicación que permita a los usuarios insertar, modificar, eliminar y consultar instancias de objetos de aprendizaje de manera cómoda y de acuerdo al marco conceptual definido. Dicho marco recoge, explicita y extiende el esquema originalmente propuesto por el estándar LOM para la descripción de los objetos de aprendizaje, orientado a la resolución de las limitaciones detectadas en el estándar y a mejorar las capacidades de los procesos de gestión de los objetos de aprendizaje. Asimismo la aplicación permite exportar dichas instancias en forma de registros de metadatos de acuerdo a la ontología básica de LOM.

C.1.1. Requisitos funcionales

Entre los requisitos funcionales de LOManager se incluyen:

- La aplicación debe permitir al usuario crear nuevas instancias de objetos de aprendizaje, mediante la introducción de los metadatos correspondientes.
- Los datos introducidos por el usuario deben cumplir todas las restricciones de integridad definidas en el marco conceptual. Algunas quedan implementadas co-

mo reglas de validación, mientras que otras quedan implementadas en forma de reglas de derivación. De manera más específica:

- a) Si una restricción de integridad queda implementada como regla de validación, en caso que se produzca algún tipo de violación de la misma, la aplicación informará al usuario de los posibles problemas encontrados.
 - b) Si una restricción de integridad queda implementada como regla de derivación, a partir de los datos introducidos por el usuario, la aplicación debe derivar el valor de algunos metadatos.
- El usuario debe poder editar un determinado objeto de aprendizaje para modificar y actualizar sus metadatos.
 - En caso de ser necesario, el usuario debe poder eliminar un objeto de aprendizaje. Si el objeto de aprendizaje eliminado es conceptual se eliminarán también todas sus materializaciones. Dependiendo de las relaciones que se establezcan entre el objeto de aprendizaje que se desea eliminar con otros objetos de aprendizaje, la aplicación no permitirá su eliminación. Por ejemplo, no es posible eliminar un objeto de aprendizaje conceptual que tenga asociado objetos de aprendizaje derivados (como sería el caso de traducciones o versiones). La operación de eliminar no se podrá deshacer.
 - Debe proporcionarse un mecanismo de búsqueda de los objetos de aprendizaje en función de unos filtros de búsqueda determinados.
 - La aplicación debe proporcionar un mecanismo de exportación de los objetos de aprendizaje de la base de datos o de un subconjunto de ellos.

C.1.2. Requisitos no funcionales

Entre los requisitos no funcionales de LOManager se destacan los siguientes:

- Debe permitir el acceso remoto a través de la Web a los usuarios.
- Tiene que ser fácil de usar y debe proporcionar a los usuarios mensajes de error claros, que permitan identificar el problema acontecido e informar, si fuera necesario, al responsable de la aplicación.



Figura C.1: Arquitectura Web en capas

- Debe ser tolerante a fallos, especialmente de aquéllos que se deriven de la interacción con los usuarios. Es necesario registrar de manera permanente (vía *log*) los errores de operación que se hayan podido producir, con el objeto de subsanar posibles errores de funcionamiento de la aplicación.
- Debe ser escalable, es decir, el tiempo de respuesta –desde el punto de vista de los usuarios– debe ser aceptable y uniforme, con independencia del número de objetos de aprendizaje almacenados o de los usuarios que estén trabajando con la aplicación.
- Tiene que ser extensible, de tal manera que se puedan añadir fácilmente nuevas necesidades funcionales, afectando al código existente de la menor manera posible.

C.2. Diseño

En esta sección se presenta de manera esquemática la arquitectura seguida en el desarrollo de LOManager, los principales casos de uso que se definen y aspectos relativos al diseño de cada una de las capas que se incluyen en su arquitectura.

C.2.1. Arquitectura

Se propone una arquitectura Web organizada en capas, tal y como muestra la figura C.1. En concreto:

- Interfaz de usuario. Captura las acciones del usuario en la interfaz gráfica, y las traduce en las peticiones correspondientes a la capa de lógica de negocio.
- Lógica de negocio. Recibe las peticiones de la capa de usuario, valida y procesa los datos introducidos y realiza las llamadas necesarias a la capa de acceso a datos para llevar a cabo las acciones de almacenamiento o consulta de datos requeridas.

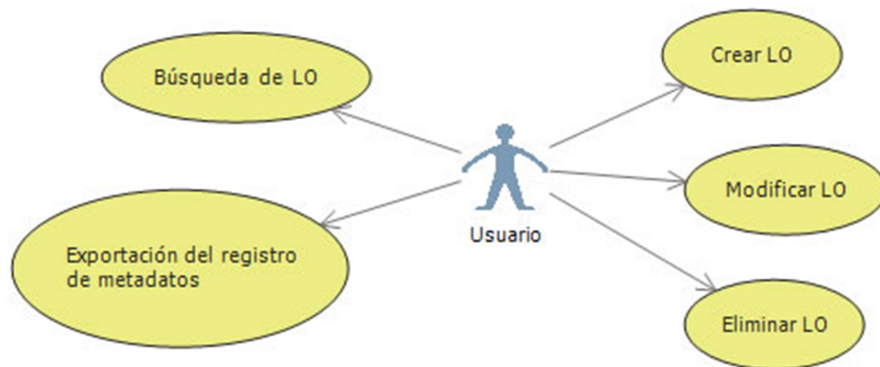


Figura C.2: Casos de uso

- Acceso a datos. Realiza operaciones de inserción, modificación, consulta y eliminación sobre los datos almacenados en la base de datos. Dichas operaciones se efectúan a petición de la capa de negocio.
- Base de datos. Almacena los datos de la aplicación.

C.2.2. Casos de uso

La aplicación define cinco casos de uso básicos. Éstos se muestran en la figura C.2. A continuación se describen los diferentes casos de uso.

Búsqueda de objetos de aprendizaje

- El usuario selecciona unos filtros determinados.
- La aplicación busca los objetos de aprendizaje en la base de datos que cumplan con los filtros seleccionados.
- La aplicación muestra los objetos de aprendizaje hallados al usuario, que a su vez pueden ser seleccionados para proceder al examen detallado de sus metadatos. Este examen permitiría recuperar información de objetos de aprendizaje relacionados.

Crear objetos de aprendizaje

- El usuario selecciona el tipo de objeto de aprendizaje conceptual que desea crear.

- La aplicación muestra al usuario un formulario con los campos específicos para el tipo de objeto de aprendizaje conceptual seleccionado.
- El usuario introduce los datos del nuevo objeto de aprendizaje conceptual, incluyendo también sus materializaciones.
- La aplicación valida los datos introducidos. Si la validación no es correcta informa al usuario de ello, con el objetivo que el usuario subsane los posibles errores cometidos.
- Si la validación es correcta, la aplicación deriva alguna información adicional a partir de los datos introducidos y de los datos disponibles en la base de datos.
- La aplicación finalmente crea el nuevo objeto de aprendizaje conceptual (y sus materializaciones) en la base de datos.

El diagrama de secuencia mostrado en la figura C.3 describe las interacciones entre componentes de la aplicación para llevar a cabo el caso de uso de creación de objetos de aprendizaje.

Modificar objetos de aprendizaje

- El usuario selecciona el objeto de aprendizaje que desea modificar.
- La aplicación muestra un formulario con los datos del objeto seleccionado.
- El usuario modifica los datos del objeto de aprendizaje.
- La aplicación valida los datos introducidos. Si la validación no es correcta informa al usuario de ello, con el objetivo que el usuario subsane los errores.
- Si la validación es correcta, la aplicación deriva alguna información adicional a partir de los datos introducidos y de los datos disponibles en la base de datos.
- La aplicación finalmente modifica el objeto de aprendizaje en la base de datos. En el caso de objetos de aprendizaje conceptuales, es posible que las modificaciones también se propaguen a sus objetos de aprendizaje relacionados (materializaciones y derivados).

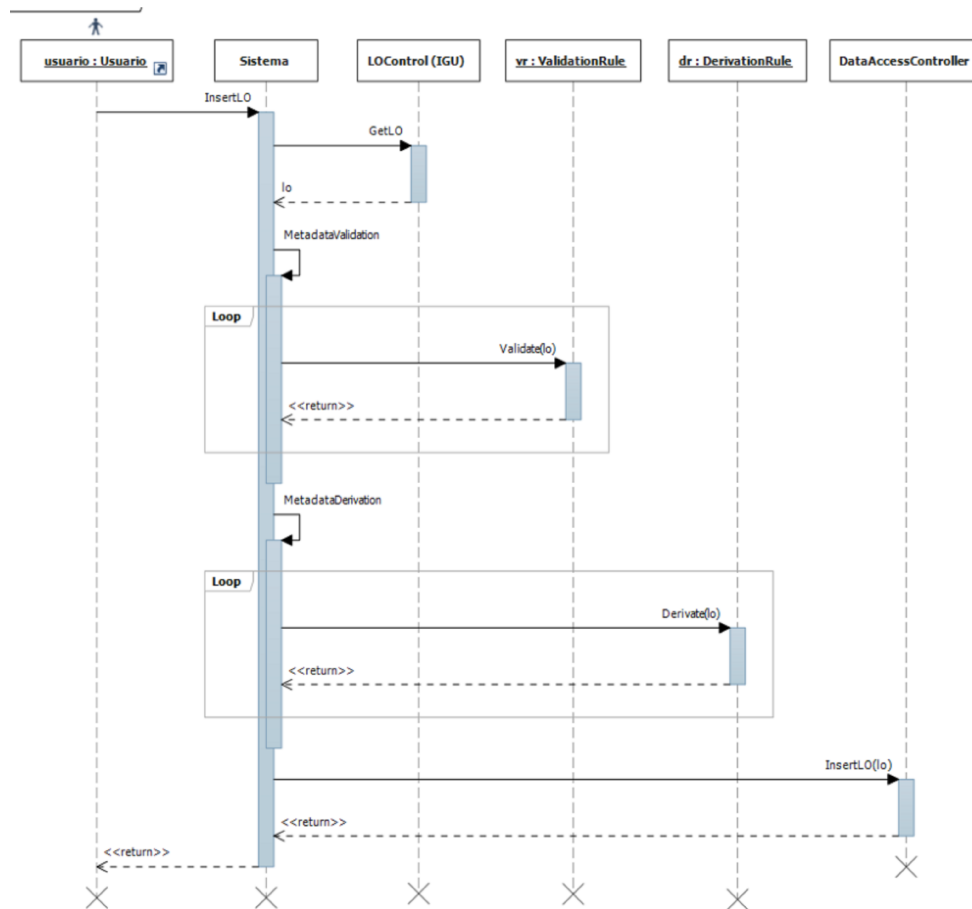


Figura C.3: Diagrama de secuencia para el caso de uso creación de objetos de aprendizaje

Eliminar objetos de aprendizaje

- El usuario selecciona el objeto de aprendizaje que desea eliminar.
- La aplicación pide confirmación para realizar la operación, si ésta es posible.
- El usuario confirma la eliminación.
- La aplicación elimina el objeto de aprendizaje seleccionado y todas sus materializaciones (si se trata de un objeto de aprendizaje conceptual).

Exportación del registro de metadatos

- El usuario selecciona uno, varios o todos los objetos de aprendizaje almacenados en la base de datos.

- La aplicación genera un fichero OWL de acuerdo a la ontología básica de LOM con los datos de los objetos de aprendizaje indicados, incluyendo además todos sus objetos de aprendizaje relacionados.
- La aplicación permite al usuario guardar el fichero generado.

C.2.3. Diseño de capas

A continuación se describen brevemente cada una de las capas de la arquitectura (véase la figura C.1) seguida para el desarrollo de LOManager. La descripción se realiza desde la capa más interna a la más externa.

Base de datos

Todos los datos de la aplicación se guardan en una base de datos. Esta base de datos se ajusta al modelo de datos relacional clásico. Por razones de espacio, su esquema no se detalla en este apéndice.

Acceso a datos

Esta capa de la aplicación está formada básicamente por un único componente estático con operaciones básicas para:

- Insertar un objeto de aprendizaje
- Actualizar un objeto de aprendizaje
- Eliminar un objeto de aprendizaje
- Recuperar todos los objetos de aprendizaje de la base de datos
- Recuperar los objetos de aprendizaje de la base de datos por filtro
- Recuperar datos de un objeto de aprendizaje específico

Lógica de negocio

Esta capa tiene como misión fundamental garantizar una descripción consistente de los objetos de aprendizaje, de acuerdo a las restricciones de integridad definidas en

el marco conceptual. Algunas de dichas restricciones de integridad quedan implementadas mediante reglas de validación, mientras que otras se implementan como reglas de derivación.

Las reglas de validación devuelven un resultado que indica si la validación ha sido satisfactoria o si por el contrario, ha habido errores, en cuyo caso se informa al usuario de la causa de los problemas encontrados. Por otro lado, las reglas de derivación permiten inferir metadatos adicionales (no editables por el usuario) a partir de los introducidos manualmente por el usuario. La implementación de las reglas se basa en el uso de dos clases. Éstas son las clases `ValidationRule` y `DerivationRule`, y permiten aplicar una restricción de integridad sobre un objeto de aprendizaje determinado.

Para cada una de las reglas de validación/derivación, se define una subclase de las clases de base anteriores y se registra en la capa de negocio, de forma que durante la ejecución de la aplicación se procesarán todas las reglas que estén registradas, primero las reglas de validación y a continuación las de derivación. El orden interno seguido en la aplicación de las reglas de validación es, en principio, indiferente ya que se trata de comprobar que los metadatos cumplen una determinada condición. En cambio las reglas de derivación pueden necesitar ser ejecutadas en un orden concreto, por ejemplo no se puede calcular el metadato 5.1 *Interactivity type* hasta haber derivado el metadato 5.2 *Learning resource type*. Ambos metadatos pertenecen a la categoría 5. *Educational* de LOM. Por otro lado algunas reglas de derivación requieren ser aplicadas recursivamente a las materializaciones (en el caso de objetos de aprendizaje conceptuales), o a las partes (en el caso de objetos de aprendizaje compuestos) relacionadas con el objeto de aprendizaje que se está insertando o modificando.

Una vez realizadas las operaciones de validación y derivación, se utilizan las llamadas convenientes a la capa de acceso a datos para realizar la operación de inserción o modificación solicitada por el usuario.

Aparte de la validación y derivación de datos, la capa de lógica de negocio también permite generar y exportar el registro de metadatos de un conjunto de objetos de aprendizaje seleccionados. El resultado generado es un archivo OWL que contiene la ontología básica de LOM junto con las instancias correspondientes a los objetos de aprendizaje exportados.

Interfaz de usuario

La interfaz gráfica de la aplicación está diseñada para facilitar la reutilización de componentes. En primer lugar se definen una serie de controles muy básicos que permiten representar y capturar datos para un tipo de metadato concreto como sería el caso, por ejemplo, del control para datos de tipo *LangString*, el control para representar una lista ordenada de caracteres, o el control para representar metadatos de tipo *Duration* o *DateTime* (de acuerdo al formato especificado por LOM).

A partir de los controles anteriores, se crean otros compuestos para representar metadatos más complejos que requieren un tratamiento especial. Es el caso, por ejemplo, de la información del metadato 4.4. *Requirement* de la categoría 4. *Technical*, que requiere representar una lista de requisitos técnicos combinados por disyunción lógica. O del control para representar la lista de taxones asociada al metadato 9.2. *Taxon path* de la categoría 9. *Classification*.

Una vez definidos todos los controles básicos, se crean controles específicos para cada metadato a partir de ellos, así por ejemplo habrá un control para tratar con los metadatos de la categoría 1. *General*, otro para la 2. *Life cycle*, otro para la 3. *Meta-Metadata* etc. Finalmente a partir de estos controles de metadatos se definen los controles que permiten visualizar y modificar datos de un objeto de aprendizaje, concretamente uno para cada tipo de objeto de aprendizaje: original, traducción, versión y materialización.

Por último se definen varios controles adicionales para habilitar la búsqueda de objetos de aprendizaje. Habrá un control para poder seleccionar parámetros de filtro y otro para visualizar la lista de resultados con los objetos de aprendizaje encontrados en la base de datos. Los datos utilizados para filtrar serán los siguientes:

- Identificadores de los objetos de aprendizaje, esto es, metadato 1.1 *Identifier* de la categoría 1. *General*.
- Descripciones de los objetos de aprendizaje, es decir, metadato 1.3 *Description* de la categoría 1. *General*.
- Palabras clave asociadas a los objetos de aprendizaje, esto es, metadato 1.5 *Keyword* de la categoría 1. *General*.

- Estructura organizativa interna de los objetos de aprendizaje, es decir, metadato 1.7 *Structure* de la categoría 1. *General*.
- Tipo de aprendizaje promovido por los objetos de aprendizaje, esto es, metadato 5.1 *Interactivity type* de la categoría 5. *Educational*.
- Tipo de recurso de aprendizaje, es decir, metadato 5.2 *Learning resource type* de la categoría 5. *Educational*.
- Tipo de objeto de aprendizaje de acuerdo a su nivel de abstracción: conceptuales (incluyendo sus subtipos) o materializaciones.

Los controles de búsqueda se utilizarán también dentro de los controles de edición para buscar objetos de aprendizaje relacionados, por ejemplo en la pestaña de partes de un objeto de aprendizaje conceptual (que será también compuesto) habrá un control de búsqueda con un control de visualización de resultados, para poder buscar los objetos de aprendizaje conceptuales que forman parte de dicho objeto de aprendizaje conceptual compuesto, y añadirlos a la lista de partes. Adicionalmente, se podrá elegir entre diferentes tipos de relación *has part* como sería el caso, por ejemplo, de agrupación, agregación y composición.

C.3. Implementación

La implementación de LOManager se ha desarrollado como aplicación Web, mediante el uso de las siguientes tecnologías:

- Lenguaje de programación: C# 4.0 (.NET)
- Tecnologías Web: ASP.NET 4.0
- Sistema gestor de bases de datos: PostgreSQL 9.1

Bibliografía

- Abelson, H., Adida, B., Linksvayer, M. & Yergler, N. (2008), 'ccREL: The Creative Commons Rights Expression Language', Creative Commons. <http://creativecommons.org/projects/ccREL>.
- Akeroyd, J. (2005), 'Information management and e-learning - Some perspectives', *Information management* **57**(2), 157–167.
- Al-Khalifa, H. S. & Davis, H. C. (2006), The evolution of metadata from standards to semantics in e-learning applications, *in* 'Proceedings of the 17th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia Systems (HT'06)', New York NY, USA: ACM, pp. 69–72.
- Alexopoulos, A. D., Solomou, G. D., Koutsomitropoulos, D. A. & Papatheodorou, T. (2011), Handbook of research on e-learning standards and interoperability: Frameworks and issues, *in* F. Lazarinis, S. Green & E. Pearson, eds, 'Handbook of Research on E-Learning Standards and Interoperability: Frameworks and Issues', United Kingdom: Cambridge University Press, pp. 246–263.
- Allert, H., Dhraief, H. & Nejdli, W. (2002), 'How are learning objects used in learning processes? Instructional roles of learning objects in LOM'.
- Ally, M. (2004), Foundations of educational theory for online learning, *in* T. Anderson & F. Elloumi, eds, 'Theory and practice of online learning', Athabasca AB, Canada: Athabasca University, pp. 3–31.
- Anderson, T. (2004), Towards a theory of online learning, *in* T. Anderson & F. Elloumi, eds, 'Theory and practice of online learning', Athabasca AB, Canada: Athabasca University, pp. 33–60.

- Anido, L. E., Caeiro, M. J., Santos, J. M., Rodríguez, J. S. & Llamas, M. (2002), 'Educational metadata and brokerage for learning resources', *Computers & Education* **38**(4), 351–374.
- Aroyo, L. & Dicheva, D. (2004), 'The new challenges for e-learning: The educational semantic web', *Educational Technology & Society* **7**(4), 59–69.
- Aroyo, L., Dolog, P., Houben, G. J., Kravcik, M., Naeve, A., Nilsson, M. & Wild, F. (2006), 'Interoperability in personalized adaptive learning', *Educational Technology & Society* **9**(2), 4–18.
- Ashman, H., Brailsford, T. & Brusilovsky, P. (2009), Personal Services: Debating the Wisdom of Personalisation, in M. Spaniol, Q. Li, R. Klamma & R. Lau, eds, 'Proceedings of 8th International Conference on Advances in Web Based Learning (ICWL 2009)', Vol. 5686 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 1–11.
- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D. & Patel-Schneider, P. (2004), *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Babu, D., Doan, B. L. & Bourda, Y. (2007), A semi-automatic tool for personalizing and reusing web learning resources, in J. M. Spector, D. G. Sampson, T. Okamoto, Kinshuk, S. A. Cerri, M. Ueno & A. Kashihara, eds, 'Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007)', IEEE Computer Society, pp. 127–129.
- Barnes, S., Xu, H. & Moen, W. (2007), 'A repository for learning objects : Supporting the reuse and repurposing of redesigned courses and their content', *Learning* pp. 1–13.
- Barton, J., Currier, S. & Hey, J. M. N. (2003), Building quality assurance into metadata creation: an analysis based on the learning objects and e-prints communities of practice, in J. Tennis, J. Greenberg & S. Sutton, eds, 'Proceedings of the 2003 Dublin Core Conference: Supporting Communities of Discourse and Practice - Metadata Research and Applications', Information Institute of Syracuse.
- Bates, A. W. (2000), *Managing Technological Change: Strategies for College and University Leaders*, San Francisco CA, USA: Jossey-Bass.

- Bennacer, N., Bourda, Y. & Doan, B. L. (2004), Formalizing for querying learning objects using OWL, *in* Kinshuk, C. K. Looi, E. Sutinen, D. G. Sampson, I. Aedo, L. Uden & E. Kähkönen, eds, ‘Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2004)’, IEEE Computer Society.
- Berners-Lee, T., Hendler, J. & Lassila, O. (2001), ‘The semantic web’, *Scientific American* **284**(5), 34–43.
- Bizer, C., Heath, T. & Berners-Lee, T. (2009), ‘Linked data – the story so far’, *International Journal on Semantic Web and Information Systems* **5**(3), 1–22.
- Borst, W. N. (1997), Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse, Ph.D. thesis, Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Boyle, T. & Cook, J. (2001), Towards a pedagogically sound basis for learning object portability and re-use, *in* G. Kennedy, M. Keppell, C. McNaught & T. Petrovic, eds, ‘Proceedings of the 18th Annual Conference of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education (ASCILITE 2001)’, University of Melbourne, Melbourne: Biomedical Multimedia Unit, pp. 101–109.
- Brase, J. (2005), Usage of metadata, Ph.D. thesis, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der Universität Hannover, Hannover, Germany.
- Brase, J. & Nejdl, W. (2004), Ontologies and metadata for eLearning, *in* S. Staab & R. Studer, eds, ‘Handbook on ontologies’, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 555–573.
- Brase, J. & Painter, M. (2004), ‘Inferring metadata for a semantic web peer-to-peer environment’, *Educational Technology & Society* **7**(2), 61–67.
- Brase, J., Painter, M. & Nejdl, W. (2003), Completing LOM - How additional axioms increase the utility of learning object metadata, *in* ‘Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2003)’, IEEE Computer Society Press.
- Brightman, D. (2000), Introduction, *in* D. Brightman, ed., ‘Emerging strategies for effective e-learning solutions. Vol. 3 of Learning without limits’, San Francisco CA, USA: Informania, pp. 3–5.

- Buneman, P., Khanna, S. & Tan, W. C. (2000), Data provenance: Some basic issues, *in* S. Kapoor & S. Prasad, eds, ‘Proceedings of the 20th Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FST TCS 2000)’, Vol. 1974 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 87–93.
- Carliner, S. (2004), *Overview of online learning*, Amherst MA, USA: HRD Press.
- Castells, M. (2005), *La era de la información (Vol. 1): Economía, Sociedad y Cultura. La sociedad red*, Madrid, España: Alianza.
- Cechinel, C., Sánchez-Alonso, S. & Sicilia, M. A. (2009), Empirical analysis of errors on human-generated learning objects metadata, *in* F. Sartori, M. A. Sicilia & N. Manouselis, eds, ‘Metadata and Semantic Research. Third International Conference MTSR 2009’, Vol. 46 of *Communications in Computer and Information Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 60–70.
- CEN-LTSO (2011), Learning Technologies Standards Observatory. Observatory Contents, Technical report.
- Chaffin, R. & Herrmann, D. J. (1988), The nature of semantic relations: A comparison of two approaches, *in* M. W. Evens, ed., ‘Relational Models of the Lexicon’, United Kingdom: Cambridge University Press, pp. 289–334.
- Chatti, M. A., Klamma, R., Quix, C. & Kensche, D. (2005), LM-DTM: An environment for XML-based, LIP/PAPI-compliant deployment, transformation and matching of learner models, *in* ‘Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2005)’, IEEE Computer Society Press, pp. 567–569.
- Conesa, J. & Olivé, A. (2006), A method for pruning ontologies in the development of conceptual schemas of information systems, *in* S. Spaccapietra, P. Atzeni, W. Chu, T. Catarci & K. Sycara, eds, ‘Journal on Data Semantics V’, Vol. 3870 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 64–90.
- Conesa, J., Storey, V. & Sugumaran, V. (2010), ‘Usability of upper level ontologies: The case of ResearchCyc’, *Data Knowledge Engineering* **69**(4), 343–356.

- Currier, S., Barton, J., O’Beirne, R. & Ryan, B. (2004), ‘Quality assurance for digital learning object repositories: issues for the metadata creation process’, *ALT-J: Research in Learning Technology* **12**(1), 5–20.
- Doan, B. L. & Bourda, Y. (2006), An educational system based on several ontologies, in Kinshuk, R. Kope, P. Kommers, P. Kirschner, D. G. Sampson & P. Didden, eds, ‘Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006)’, IEEE Computer Society Press, pp. 179–183.
- Dodero, J. M., Díaz, P., Aedo, I. & Sarasa, A. (2005), ‘Integrating ontologies into the collaborative authoring of learning objects’, *Journal of Universal Computer Science* **11**(9), 1568–1575.
- Dodero, J. M., Sánchez-Alonso, S. & Frosch-Wilke, D. (2007), ‘Generative instructional engineering of competence development programmes’, *Journal of Universal Computer Science* **13**(9), 1213–1233.
- Downes, S. (2001), ‘Learning objects: resources for distance education worldwide’, *International Review of Research in Open and Distance Learning* **2**(1).
- Downes, S. (2004), ‘Resource profiles’, *Journal of Interactive Media in Education. Special Issue on the Educational Semantic Web* **2004**(5).
- Downes, S., Mourad, M. & Robson, R. (2003), Digital Rights Management in E-learning, in A. Rossett, ed., ‘Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2003 (E-Learn 2003)’, Chesapeake VA, USA: AACE, pp. 696–699.
- Duval, E. (2004), ‘Learning technology standardization: making sense of it all’, *International Journal on Computer Science and Information Systems* **1**(1), 33–43.
- Duval, E., Hodgins, W., Suttton, S. & Weibel, S. (2002), ‘Metadata Principles and Practicalities’, *D-Lib Magazine* **8**(4).
- Farance, F. (2003), ‘IEEE LOM standard not yet ready for “prime time”’, *IEEE Learning Technology Newsletter* **5**(1), 21–23.
- Feldstein, M. (2002), ‘What is “usable” e-learning?’, *ACM eLearn Magazine* **2002**(9).

- Fermoso-García, A. M., Sánchez-Alonso, S. & Sicilia, M. A. (2008), Una ontología en OWL para la representación semántica de objetos de aprendizaje, *in* ‘V Simposio Pluridisciplinar sobre Diseño y Evaluación de Contenidos Educativos Reutilizables (SPDECE 2008)’.
- Fischer, S. (2001), ‘Course and exercise sequencing using metadata in adaptative hypermedia learning systems’, *ACM Journal of Educational Resources in Computing* **1**(1).
- Friesen, N. (2004a), Final Report on the “International LOM Survey”, Technical Report NO871, ISO/IEC JTC1 SC36. <http://www.sc36.org/index.jsp>.
- Friesen, N. (2004b), Semantic interoperability for learning object metadata, *in* D. I. Hillman & E. Westbrooks, eds, ‘Metadata in Practice’, Chigago IL, USA: American Library Association Editions, pp. 104–116.
- Friesen, N. (2005), ‘Interoperability and learning objects: An overview of e-learning standarization’, *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* **1**, 23–31.
- Friesen, N., Fisher, S. & Roberts, A. (2003), CanCore guidelines: Classification Category, Technical report, CanCore Learning Resource Metadata Initiative. <http://cancore.athabascau.ca/en/>.
- Friesen, N., Mason, J. & Ward, N. (2002), Building educational metadata application profiles, *in* ‘Proceedings of International Conference on Dublin Core and Metadata for e-Communities (DC-2002)’, Italy: Firenze University Press, pp. 63–69.
- Gaeta, M., Orciuoli, F. & Ritrovato, P. (2009), ‘Advanced ontology management system for personalised e-learning’, *Knowledge-Based Systems* **22**(4), 292–301.
- García-Barriocanal, E., Sicilia, M. A. & Lytras, M. D. (2007), ‘Evaluating pedagogical classification frameworks for learning objects: A case study’, *Computers in Human Behavior* **23**(6), 2641–2655.
- Garrison, D. R. & Anderson, T. (2003), *E-learning in the 21st century. A Framework for research and practice*, London, United Kingdom: Routledge Falmer.
- Gasevic, D., Jovanovic, J. & Devedzic, V. (2007), ‘Ontology-based annotation of learning object content’, *Interactive Learning Environments* **15**(1), 1–26.

- Genesereth, M. R. & Nilson, N. J. (1987), *Logical Foundations of Artificial Intelligence*, Palo Alto CA, USA: Morgan Kaufmann.
- Ghebghoub, O., Abel, M. H. & Moulin, C. (2008), Semantic indexing of e-learning resources, *in* 'International Conference on Information & Communication Technologies: from Theory to Applications (ICTTA 08)', IEEE Computer Society, pp. 1–6.
- Ghebghoub, O., Abel, M. H., Moulin, C. & Leblanc, A. (2010), Building and use of a LOM ontology, *in* F. Gargouri & W. Jaziri, eds, 'Ontology Theory, Management and Design: Advanced Tools and Models', Hershey PA, USA: IGI Global, pp. 162–178.
- Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M. & Corcho, O. (2004), *Ontological engineering*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer.
- Gruber, T. R. (1993), 'A translation approach to portable ontology specifications', *Knowledge Acquisition* **5**(2), 199–220.
- Guarino, N. (1998), Formal ontology and information systems, *in* 'Proceedings of the 1st International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98)', Amsterdam, The Netherlands: IOS Press, pp. 3–15.
- Guarino, N. & Giaretta, P. (1995), *Ontologies and Knowledge Bases - Towards a Terminological Clarification*, IOS Press, Amsterdam: The Netherlands, pp. 25–32.
- Haase, K. (2004), Context for semantic metadata, *in* 'Proceedings of the 12th annual ACM International Conference on Multimedia (MM '04)', New York NY, USA: ACM, pp. 204–211.
- Hamel, C. J. & Ryan-Jones, D. (2002), 'Towards a comprehensive learning object metadata: Incorporation of context to stipulate meaningful learning and enhance learning object reusability', *International Journal of Educational Technology* **3**(1).
- Hatala, M. & Richards, G. (2003), Value-added metatagging: Ontology and rule based methods for smarter metadata, *in* M. Schroeder & G. Wagner, eds, 'Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web, Second International Workshop (RuleML 2003)', Vol. 2876 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 65–80.

- Hatala, M., Richards, G., Eap, T. & Willms, J. (2004), The interoperability of learning object repositories and services: standards, implementations and lessons learned, *in* 'Proceedings of the 13th international World Wide Web Conference on Alternate track papers & posters (WWW'04)', New York NY, USA: ACM.
- Huang, W., Webster, D., Wood, D. & Ishaya, T. (2006), 'An intelligent semantic e-learning framework using context-aware semantic web technologies', *British Journal of Educational Technology* **37**(3), 351–373.
- Iannella, R. (2002), 'Open digital rights language (ODRL), version 1.1', World Wide Web Consortium,. <http://www.w3.org/TR/odrl/>.
- Iglesias, C. A., Garijo, M., Molina, D. & de Juan, P. (2009), A Dublin Core application profile for musical resources, *in* F. Sartori, M. A. Sicilia & N. Manouselis, eds, 'Metadata and Semantic Research. Third International Conference MTSR 2009', Vol. 46 of *Communications in Computer and Information Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 1–12.
- Jovanovic, J., Gasevic, D. & Devedzic, V. (2005), TANGRAM: An ontology-based learning environment for intelligent information systems, *in* G. Richards, ed., 'Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education (E-LEARN 2005)', Chesapeake VA, USA: AACE, pp. 2966–2971.
- Juan, A., Minguillon, J., Huertas, M. A., Cavaller, V. & Sancho, T. (2011), 'Computer-supported statistics courses in online environments: adding e-repositories to the equation', *Int. Journal of Teaching and Case Studies* **3**(1), 16–34.
- Kabel, S., de Hoog, R., Wielinga, B. & Anjewierden, A. (2004), 'Indexing learning objects: Vocabularies and empirical investigation of consistency', *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* **13**(4), 405–425.
- Kastrantas, K., Palavitsinis, N., Manouselis, N., Palmer, M., Ebner, H. & Sánchez-Alonso, S. (2009), Educational metadata for Organic.Edunet learning objects (multilingual), Technical report, Organic.Edunet.
- Keegan, D. (1995), Distance education technology for the new millennium: compressed video teaching, Technical Report ZIPP Papiere ED 389 931, Institute for research into distance education, Fern University, Hagen (Germany).

- Khan, B. H. (1997), Web-based instruction: What is it and why is it?, in B. H. Khan, ed., 'Web-based instruction', Englewood Cliffs NJ, USA: Educational Technology Publications, pp. 5–18.
- Koper, R. & Tattersall, C. (2005), *Learning Design: A Handbook on Modeling and Delivering Networked Education and Training*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer.
- Koutsomitropoulos, D. A., Alexopoulos, A. D., Solomou, G. D. & Papatheodorou, T. S. (2010), 'The use of metadata for educational resources in digital repositories: Practices and perspectives', *D-Lib Magazine* **16**(1/2).
- Koutsomitropoulos, D. A., Solomou, G. D., Alexopoulos, A. D. & Papatheodorou, T. S. (2009), 'Semantic web enabled digital repositories', *International Journal on Digital Libraries* **10**(4), 179–199.
- Lassila, O. & McGuinness, D. (2001), The role of frame-based representation on the semantic web, Technical report, K. S. Laboratory. Stanford University.
- Lehman, R. (2007), 'Learning object repositories', *New Directions for Adult and Continuing Education* **2007**(113).
- Lemnitzer, L., Vertan, C., Killing, A., Simov, K. I., Evans, D., Cristea, D. & Monachesi, P. (2007), Improving the search for learning objects with keywords and ontologies, in E. Duval, R. Klamma & M. Wolpers, eds, 'Creating New Learning Experiences on a Global Scale, Second European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2007', Vol. 4753 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 202–216.
- Lenat, D. B. (1995), 'CYC: A large-scale investment in knowledge infrastructure', *Communications of the ACM* **38**(11), 33–38.
- Liu, O., Yang, Z., Yan, K., Jin, J. & Deng, W. (2005), Research on DRM-Enabled learning objects model, in 'Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05) - Volume II - Volume 02', ITCC'05, IEEE Computer Society Press, pp. 772–773.
- LOM (2002), Draft standard for learning object metadata, Technical Report IEEE 1484.12.1-2002, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

- LOM-ES (2007), ‘Consideraciones de diseño. Esquemas LOM-ES’, Plataforma de objetos digitales educativos Agrega.
- LOM-XML (2003), Draft standard for eXtensible markup language (XML) binding for learning object metadata data model, Technical Report IEEE 1484.12.3/D1, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Longmire, W. (2000*a*), Content and context: Designing and developing learning objects, *in* D. Brightman, ed., ‘Emerging strategies for effective e-learning solutions. Vol. 3 of Learning without limits’, San Francisco CA, USA: Informania, pp. 23–30.
- Longmire, W. (2000*b*), ‘A primer on learning objects’, ASTD Learning Circuits. <http://www.astd.org/>.
- Lu, E. J.-L. & Hsieh, C. J. (2009), ‘A relation metadata extension for SCORM content aggregation model’, *Computer Standards & Interfaces* **31**, 1028–1035.
- Lucas, A. (2000), *La nueva sociedad de la información*, Madrid, España: Trotta.
- Lytras, M., Tsilira, A. & Themistocleous, M. (2003), Towards the semantic e-learning: An ontological oriented discussion of the new research agenda in e-learning, *in* ‘Proceedings 9th Americas Conference on Information Systems, (AMCIS 2003)’, AMCIS Proceedings, pp. 2985–2997.
- Martin, J. & Odell, J. (1995), *Object-Oriented Methods: A Foundation*, Upper Saddle River NJ, USA: Prentice-Hall.
- Mascardi, V., Cordì, V. & Rosso, P. (2006), A comparison of upper ontologies, Technical Report DISI-TR-06-21, Dipartimento di Informatica e Scienze dell’Informazione. Università degli Studi di Genova.
- Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., Oltramari, A. & Schneider, L. (2002), The WonderWeb library of foundational ontologies, Technical Report Deliverable D17, WonderWeb.
- McGreal, R. (2004), ‘Learning objects: A practical definition’, *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning* **1**(9), 21–32.
- McNaught, C. (2006), Are learning repositories likely to become mainstream in education?, *in* J. A. Moinhos-Cordeiro, V. Pedrosa & J. Filipe, eds, ‘Proceedings of

the 2nd International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST 2006)', INSTICC Press, pp. IS9–IS17.

Miliauskaite, E. & Nemuraite, L. (2005), 'Representation of integrity constraints in conceptual models', *Information Technology and Control* **34**(4), 355–365.

Mills, S. (2002), Learning about learning objects with learning objects, in D. A. Willis, J. Price & N. Davis, eds, 'Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference (SITE 2002)', Chesapeake VA, USA: AACE, pp. 1158–1160.

Minguillón, J., Rodríguez, M. E. & Conesa, J. (2010), Extending learning objects by means of social networking, in X. Luo, M. Spaniol, L. Wang, Q. Li, W. Nejdl & W. Zhang, eds, 'Proceedings of 9th International Conference on Advances in Web-Based Learning (ICWL 2010)', Vol. 6483 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 220–229.

Minguillón, J., Rodríguez, M. E. & Conesa, J. (2011), Improving searching and browsing capabilities of learning object repositories, in D. Pérez-Marín, M. Kravcik & O. C. Santos, eds, 'International Workshop on Personalization Approaches in Learning Environments (PALE 2011)', Vol. 732, CEUR-WS, pp. 30–35.

Mohammed, P. & Mohan, P. (2007), 'Contextualizing learning objects using ontologies', *Computational Intelligence* **23**(3), 339–355.

Mohan, P. & Brooks, C. (2003a), Engineering a future for web-based learning objects, in J. Cueva-Lovelle, B. González-Rodríguez, L. Joyanes-Aguilar, J. Labra-Gayo & M. del Puerto, eds, 'Proceedings of the 2003 International Conference on Web engineering (ICWE'03)', Vol. 2722 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 120–123.

Mohan, P. & Brooks, C. (2003b), Learning objects on the semantic web, in 'Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2003)', IEEE Computer Society Press, pp. 195–199.

Monachesi, P., Simov, K., Mossel, E., Osenova, P. & Lemnitzer, L. (2008), What ontologies can do for elearning, in 'Proceedings of the International Conference on Interactive Mobile and Computer Aided Learning (IMCL 2008)'.

- Najjar, J., Ternier, S. & Duval, E. (2003), The actual use of metadata in ARIADNE: an empirical analysis, *in* ‘Proceedings of 3rd ARIADNE Conference’, pp. 1–6.
- Niles, I. & Pease, A. (2001), Towards a standard upper ontology, *in* C. Welty & B. Smith, eds, ‘Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001)’, New York NY, USA: ACM, pp. 2–9.
- Nilsson, M. (2010), From Interoperability to Harmonization in Metadata Standardization. Designing an Evolvable Framework for Metadata Harmonization, Ph.D. thesis, KTH Computer Science and Communication, Stockholm, Sweden.
- Nilsson, M., Johnston, P., Naeve, A. & Powell, A. (2006), ‘Towards an interoperability framework for metadata standards’, Proceedings of the International Conference on Dublin Core and Metadata Applications: Metadata for Knowledge and Learning. <http://www.dublincore.go.kr/dcpapers/pdf/2006/Paper39.pdf>.
- Nilsson, M., Palmer, M. & Brase, J. (2003), ‘The LOM RDF binding – principles and implementation’, Proceedings of the 3rd Annual ARIADNE Conference. <http://cid.nada.kth.se/pdf/CID-243.pdf>.
- Noy, N. F. & McGuinness, D. L. (2001), ‘Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology’, Stanford Knowledge Systems Laboratory.
- Oberle, D., Ankolekar, A., Hitzler, P., Cimiano, P., Sintek, M., Kiesel, M., Mougouie, B., Baumann, S., Vembu, S., Romanelli, M., Buitelaar, P., Engel, R., Sonntag, D., Reithinger, N., Loos, B., Zorn, H. P., Micelli, V., Porzel, R., Schmidt, C., Weiten, M., Burkhardt, F. & Zhou, J. (2007), ‘DOLCE ergo SUMO: On foundational and domain models in the SmartWeb Integrated Ontology (SWIntO)’, *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* **5**(3), 156–174.
- Olivé, A. (2007), *Conceptual Modeling of Information Systems*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer.
- Palavitsinis, N., Manouselis, N. & Sánchez-Alonso, S. (2009), Evaluation of a metadata application profile for learning resources on organic agriculture, *in* F. Sartori, M. A. Sicilia & N. Manouselis, eds, ‘Metadata and Semantic Research. Third International Conference MTSR 2009’, Vol. 46 of *Communications in Computer and Information Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 270–281.

- Poli, R. (2002), ‘Descriptive, formal and formalized ontologies’, *International Journal of Human-Computer Studies* **56**(6), 639–664.
- Polsani, P. R. (2003), ‘Use and abuse of reusable learning objects’, *Journal of Digital Information* **3**(4).
- Quarati, A. (2003), Designing shareable and personalisable e-learning paths, in ‘Proceedings of the International Conference on Information Technology: Computers and Communications (ITCC’03)’, IEEE Computer Society, pp. 454–460.
- R. Heery, S. A. (2005), Digital repositories review, Technical report, JISC.
- Recker, M. & Wiley, D. A. (2001), ‘A non-authoritative educational metadata ontology for filtering and recommending learning objects’, *Journal of interactive learning environments* **9**(3), 255–271.
- Rehak, D. R. & Mason, R. (2004), Keeping the learning in learning objects, in A. Littlejohn, ed., ‘Reusing online resources: a sustainable approach to e-learning’, Taylor and Francis e-Library, pp. 20–34.
- Riecken, D. (2000), ‘Introduction: personalized views of personalization’, *Communications of the ACM* **43**, 26–28.
- Rodríguez, M. E., Conesa, J., García-Barriocanal, E. & Sicilia, M. A. (2008), Conceptual interpretation of LOM and its mapping to common sense ontologies, in S. Auer, S. Schaffert & T. Pellegrini, eds, ‘Proceedings of the International Conference on Semantics Systems (I-SEMANTICS’08)’, pp. 126–133.
- Rodríguez, M. E., Serra, M., Cabot, J. & Guitart, I. (2006), Evolution of the teacher roles and figures in E-learning environments, in Kinshuk, R. Kope, P. Kommers, P. Kirschner, D. Sampson & P. Didderen, eds, ‘Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006)’, IEEE Computer Society Press, pp. 512–514.
- Rodríguez, M. E., Conesa, J. & Sicilia, M. A. (2009), Clarifying the semantics of relationships between learning objects, in F. Sartori, M. A. Sicilia & N. Manouselis, eds, ‘Metadata and Semantic Research. Third International Conference MTSR 2009’, Vol. 46 of *Communications in Computer and Information Science*, Berlin-Heidelberg, Germany: Springer, pp. 35–47.

- Rodríguez, M. E., Conesa, J. & Sicilia, M. A. (2010), Clases de objetos para el aprendizaje y su representación en registros de metadatos especializados, *in* M. E. Prieto, J. M. Dodero & D. O. Villegas, eds, 'Recursos digitales para la educación y la cultura. Volumen SPDECE', Universidad de Cádiz, pp. 95–102.
- Semy, S. K., Pulvermacher, M. K. & Obrst, L. J. (2004), Toward the use of an upper ontology for U.S. Government and U.S. Military domains: An evaluation, Technical Report MTR 04B0000063, MITRE Corporation.
- Sen, A. (2004), 'Metadata management: past, present and future', *Decision Support Systems* **37**(1), 151–173.
- Serra, M., Huertas, M. A., Rius, A., Rodríguez, M. E. & Santamaría, E. (2005), Nuevos paradigmas de la educación: roles de acción docente en el entorno virtual de la UOC, *in* M. O. Cantero, ed., 'Actas del I Simposio Nacional de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones en la educación (SINTICE 2005)', España: Thomson Paraninfo, pp. 45–52.
- Sheth, A. P. & Larson, J. A. (1990), 'Federated database systems for managing distributed, heterogeneous, and autonomous databases', *ACM Computing Surveys* **22**(3), 183–236.
- Sheth, A. P., Ramakrishnan, C. & Thomas, C. (2005), 'Semantics for the semantic web: The implicit, the formal and the powerful', *International Journal Semantic Web Information Systems* **1**(1), 1–18.
- Sicilia, M. A. (2005), 'Reusabilidad y reutilización de objetos didácticos: mitos, realidades y posibilidades', *RED. Revista de educación a distancia* **3**(1).
- Sicilia, M. A. (2006), 'Metadata, semantics and ontology: Providing meaning to information resources', *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies* **1**(1), 83–86.
- Sicilia, M. A., Ebner, H., Sánchez-Alonso, S., Álvarez, F., Abián, A. & García-Barriocanal, E. (2011), Navigating learning resources through linked data: a preliminary report on the re-design of Organic.Edunet, *in* S. Dietze, M. d'Aquin, D. Gasevic & M. A. Sicilia, eds, '1st International Workshop on eLearning Approaches for the Linked Data Age (Linked Learning 2011)', Vol. 717, CEUR-WS, pp. 123–130.

- Sicilia, M. A. & García-Barriocanal, E. (2005), ‘On the convergence of formal ontologies and standarized e-learning’, *Journal of Distance Education Technologies* **3**(2), 13–29.
- Sicilia, M. A., García-Barriocanal, E., Sánchez-Alonso, S. & Rodríguez, M. E. (2004), Describing learning object types in ontological structures: towards specialized pedagogical selection, *in* ‘Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications (ED-MEDIA 2004)’, Chesapeake VA, USA: AACE, pp. 2093–2097.
- Sicilia, M. A. & García, E. (2003), ‘On the concepts of usability and reusability of learning objects’, *International Review of Research in Open and Distance Learning* **4**(2).
- Sicilia, M. A., García-Barriocanal, E., Sánchez-Alonso, S. & Rodríguez, M. E. (2004), On Integrating Learning Object Metadata inside the OpenCyc Knowledge Base, *in* Kinshuk, C. K. Looi, E. Sutinen, D. G. Sampson, I. Aedo, L. Uden & E. Kähkönen, eds, ‘Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2004)’, IEEE Computer Society Press, pp. 900–901.
- Sicilia, M. A., Lytras, M., Rodríguez, M. E. & García-Barriocanal, E. (2006), ‘Integrating descriptions of knowledge management learning activities into large ontological structures: a case study’, *Data & Knowledge Engineering* **57**(2), 408–417.
- Sánchez-Alonso, S. (2005), Diseño y uso de objetos didácticos basado en contratos, Ph.D. thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Sánchez-Alonso, S. & Sicilia, M. A. (2005), ‘Normative specifications of learning objects and learning processes: Towards higher levels of automation in standardized e-learning’, *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning* **2**(3), 3–11.
- Sánchez-Alonso, S., Sicilia, M. A. & Pareja, M. (2007), Mapping IEEE LOM to WSML: an ontology of learning objects, *in* V. Grout, D. Oram & R. Picking, eds, ‘Proceedings of the 2nd International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA’07)’, North East Wales Institute of Higher Education (NEWI), United Kingdom, pp. 92–101.

- Sánchez-Alonso, S., Soto, J. & Sicilia, M. A. (2007), Designing flexible learning objects repositories: Balancing flexibility and delegation in ontological characterizations, *in* K. Harman & A. Koochang, eds, 'Learning Objects: Standards, Metadata, Repositories & LCMS', Santa Rosa CA, USA: Informing Science Press, pp. 221–254.
- Sosteric, M. & Hesemeier, S. (2002), 'When is a learning object not an object: a first step towards a theory of learning objects', *International Review of Research in Open and Distance Learning* **3**(2).
- Soto, J., García, E. & Sánchez-Alonso, S. (2007), 'Semantic learning objects repositories', *International Journal of Continuing Engineering Education and lifelong learning* **17**(6), 432–446.
- Stojanovic, L., Staab, S. & Studer, R. (2001), E-learning based in the semantic web, *in* W. A. Lawrence-Fowler & J. Hasebrook, eds, 'Proceedings of the World Conference on the WWW and Internet (WebNet 2001)', Chesapeake VA, USA: AACE, pp. 1174–1183.
- Studer, R., Benjamins, V. R. & Fensel, D. (1998), 'Knowledge engineering: Principles and methods', *Data and Knowledge Engineering* **25**(1-2), 161–197.
- Ullrich, C. (2005), 'The learning-resource-type is dead, long live the learning-resource-type!', *Learning Objects and Learning Designs* **1**(1), 7–15.
- Valentine, D. (2002), 'Distance learning: Promises, problems and possibilities', *Online Journal of Distance Learning Administration* **5**(3).
- Wang, X., Demartini, T., Wragg, B., Paramasivam, M. & Barlas, C. (2005), 'The MPEG-21 Rights Expression Language and Rights Data Dictionary', *IEEE Transactions on Multimedia* **7**(3), 408–417.
- Wiley, D. A. (2002), Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor and a taxonomy, *in* D. A. Wiley, ed., 'The instructional use of learning objects', Bloomington IN, USA: Agency for Instructional Technology and Association for Educational Communications and Technology, pp. 3–24.
- Yahya, Y. & Yussoff, M. (2008), 'Towards a comprehensive learning object metadata: Incorporation of context to stipulate meaningful learning and enhance learning

object reusability', *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects* 4, 13–48.

Zarraonandía, T., Dodero, J. M., P. Díaz, P. & Sarasa, A. (2004), Domain ontologies integration into the learning objects annotation process, *in* 'Proceedings of the 2nd International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for Web-based ITS (SWEL'04)', pp. 35–40.